

Atenza Juárez, J. F.; Erena Arrabal, M. y Martínez Cutillas, A. (2008): Zonificación Vitícola de la variedad Monastrell en la denominación de origen Jumilla. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la UPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 1-10. ISBN: 978-84-96971-53-0.

ZONIFICACIÓN VITÍCOLA DE LA VARIEDAD MONASTRELL EN LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN JUMILLA

Atenza Juárez, J. F.; Erena Arrabal, M. y Martínez Cutillas, A.

Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario. 30150 La Alberca – Murcia. joaquinf.atenza@carm.es, manuel.arena@carm.es, adrian.martinez@carm.es

RESUMEN

Aquí se presentan los resultados de la zonificación vitícola realizada para los municipios que conforman la Denominación de Origen Jumilla. Como principal resultado se puede resaltar, la obtención de un parcelario digital de la zona productora cuyas unidades cartográficas sintetizan las relaciones entre el factor edáfico (drenaje, contenido de agua disponible, pH y profundidad del suelo), el factor morfológico del terreno (modelo digital de elevaciones, pendientes y orientación), y el factor climático (integrales térmicas e índices climáticos) para cada parcela registrada en la Denominación de Origen. Para facilitar el tratamiento de la información generada en la zonificación, esta se ha integrado en un Sistema de Información Geográfica (SIG) que conjuntamente con la información de calidad de la producción nos sirve para delimitar las áreas más adecuadas para obtención de vinos de calidad, de uva Monastrell.

Palabras Clave: Zonificación vitícola, Sistemas de Información Geográfica, Monastrell, Integral térmica, Splines.

ABSTRACT

Here it shows the results of the wine zonification made over the municipalities of the Original Denomination of Jumilla. The first result, is the digital parcels from the production area, this cartographic units synthesized the relationship over edafological factors (drain, available water content, pH and depth of soils), the morphological factors (digital elevation model, slope and aspect) and the climatic factors (termic integral and climatic indexes) for every parcel registered at Original Denomination. To make easy the use of information generated by the wine zonification, this has been integrated in a Geographical Information System (GIS) that with the production and quality information that allow us to mark the boundaries of the best areas to obtain quality wines from Monastrell grapevine.

Key Words: Wine zonification, Geographic Information Systems, Monastrell, Termic Integral, Splines.

INTRODUCCIÓN

La difícil coyuntura por la que está atravesando el sector vitivinícola, con elevados excedentes y la UE presionando para arrancar hasta 400.000 Has y liberalizar el mercado del vino a partir del 2010, según las primeras discusiones de la nueva OCM del vino, plantea al sector la urgente necesidad de una apuesta firme por la calidad y por un mejor conocimiento de sus zonas de producción vitivinícolas, con el objetivo de que si finalmente hay que reestructurar el sector y arrancar parte de las actuales viñas en cultivo, que se arranquen aquellas que están produciendo vinos de menor calidad y se mantengan las que dan producciones equilibradas y de calidad. El actual sistema de pago de la uva, bastante extendido en amplias zonas vitivinícolas españolas, que valora casi exclusivamente la producción y el contenido en azúcares de las uvas, está primando las viñas con elevadas producciones de kilogramos, frente a las situadas en condiciones más desfavorables con pequeñas producciones y alto potencial enológico. Refiriéndonos a uvas tintas este sistema de valoración, está primando sin pretenderlo las altas producciones con buen contenido en azúcares y pobres en color obtenidas en regadío, frente a las bajas producciones con altos contenidos en azúcares y color, obtenidas en seco.

Aquellas Denominaciones de Origen más prestigiadas en las que algunas variedades destacan por su calidad han introducido algún factor de corrección fijando un contenido en sólidos solubles totales mínimo y estableciendo diferentes precios, en función de las variedades.

Numerosas bodegas particulares, cooperativas y asociaciones de agricultores, han mostrado su preocupación por este problema y está urgiendo la necesidad de encontrar nuevos métodos rápidos y fiables para valorar las uvas, especialmente las tintas, no sólo por el kilogramo sino por su potencialidad de producir vinos de calidad, entendiéndose por tal, su contenido en polifenoles y en antocianos.

En España la producción de vinos de calidad se centra fundamentalmente en un sistema de distribución territorial basado en las Denominaciones de Origen y a este respecto, P. Huglin consideraba ya en 1978 que se deben basar en la delimitación de zonas con condiciones ecológicas particularmente privilegiadas o, como rara vez se dice, simplemente originales.

La zonificación agroecológica de áreas cultivadas tiene por objeto determinar espacios con distintas aptitudes para la producción agrícola. Por zonificación se entiende la investigación del territorio con el fin de repartirlo en zonas relativamente homogéneas como resultado de la interacción entre el viñedo y el ambiente (Fregoni et al. 1998).

En la vid, la zonificación permite afirmar la vocación por determinadas producciones, por ejemplo, uva de mesa o de vinificación. Indicar que variedades tienen más adaptación en cada lugar, conocer las limitaciones ambientales para el cultivo y sentar las bases de estudios sobre tipicidad y originalidad de la producción que permitan establecer áreas con indicación geográfica o denominación de origen y dentro de ellas, subzonas singulares por su potencialidad de dar vinos de calidad diferenciada.

El clima es uno de los elementos que sirven para diferenciar zonas aptas para el cultivo, junto con los factores pedológicos y de paisaje. La posterior superposición cartográfica de las condiciones climáticas, edáficas y de paisaje, mediante sistemas de información geográfica, permite determinar unidades básicas de terruño con aptitud similar (Morlat, 1996).

Se han definido numerosos índices climáticos para estimar la potencialidad vitícola a escala regional, la mayoría de los cuales utilizan la temperatura y alguna estimación de la radiación solar. Son clásicos los índices de Winkler (Amerine y Winkler, 1944), Branás (Branás, 1946) y Huglin (Huglin, 1983).

Hidalgo (1993), realizó una primera zonificación climática de las áreas vitícolas en España, utilizando diversos índices. Este aporte es válido a nivel macroclimático, pero no ofrece la posibilidad de discriminar diferencias a escala mesoclimática.

El análisis a escala mesoclimática requiere circunscribir áreas de extensión más limitada donde exista un buen conocimiento de las condiciones locales, para lo que se necesita contar con un gran número de estaciones meteorológicas.

La delimitación y caracterización de zonas vitícolas plantea en España problemas específicos no sólo por las características peculiares del territorio sino también por el tamaño, distribución e índice de ocupación vitícola en las distintas Denominaciones de Origen.

ZONA DE ESTUDIO

La Denominación de Origen vinos de Jumilla se encuentra situada en el altiplano levantino, comarca de transición entre la llanura manchega y las tierras mediterráneas y las aproximadamente 42.000 ha. que constituyen su viñedo, se extienden por el municipio de Jumilla en Murcia y seis municipios del S.E. de Albacete: Ontur, Tobarra, Albatana, Hellín, Montealegre y Fuente Álamo.

Territorio elevado, de 400 a 900 m.s.n., de clima duro, continental aunque influido por el relativamente próximo Mediterráneo. Muy seco, cálido en verano y frío en los cortos inviernos.

Sus suelos son pardos y pardo-rojizo, calizos, sueltos, pedregosos, que se han desarrollado sobre depósitos calizos pedregosos procedentes de derrubios miocénicos de las sierras circundantes.

La principal variedad de la zona es la tinta Monastrell que constituye más del 80% del viñedo. Se trata de una variedad noble, austera, resistente y sufrida de pequeños racimos, con uvas, también pequeñas, de oscura coloración y gran riqueza en azúcares y en otros componentes nobles del extracto.

También se cultivan Garnacha, Garnacha Tintorera, Cencibel, Tempranillo, Cabernet Sauvignon, Syrah, Merlot y Petit Verdot, entre las tintas, y las mucho menos extendidas blancas: Airen, Macabeo, Malvasía, Pedro Ximénez, Chardonnay, Sauvignon Blanc, Moscatel de grano menudo y Viognier.

El objetivo principal del trabajo es determinar subzonas con distintas potencialidades vitivinícolas, basado en el análisis del mesoclima, en la Denominación de Origen Jumilla; definir su aptitud vitícola y delimitarlas geográficamente mediante mapas ligados a SIG (Sistemas de Información Geográfica), utilizando para este estudio la variedad Monastrell durante su ciclo vegetativo hasta el momento de ser vendimiada. Tras el ajuste y verificación del modelo, este se extrapolará a otras zonas de producción vitivinícola como la Denominación de Origen de Bullas y la Denominación de Origen Yecla.

METODOLOGÍA

La metodología tradicional relacionada con la zonificación en sus diversos aspectos ha sido considerada en los últimos años por diversos autores y se basa generalmente en las relaciones entre el medio y la calidad de los productos intermedios y del producto final, por lo tanto, parece obvio considerar que el objetivo general de la zonificación es la delimitación de zonas vitícolas en función de los parámetros que definen tal medio y que están implicados en la calidad del producto. De la complejidad del tema da idea el elevado grado de interdisciplinariedad necesario (expertos en viticultura, enología, edafología, climatología, geología, cartografía, estadística, informática...) y las posibilidades de abordar el problema de forma global quedan limitadas principalmente por la carencia de datos básicos y enológicos relacionados con unidades determinadas del medio. A pesar de esta limitación, la metodología que se propone se adapta favorablemente a las bases teóricas para la caracterización del terroir de Morlat y Asselin (1992) y a la consideración definitiva de que la zonificación debe valorar los elementos vitícolas en función de los objetivos productivos, siendo la calidad de la producción, de hecho, el resultado de la interacción entre el viñedo, el clima, el suelo y las técnicas culturales (Fregoni, 1985). La delimitación y caracterización de zonas vitícolas plantea en España problemas específicos no sólo por las características peculiares del territorio sino también por el tamaño, distribución e índice de ocupación vitícola en las distintas Denominaciones de Origen. En resumen, en el análisis de zonificación se caracterizan las zonas homogéneas principalmente desde el punto de vista del medio. El resultado final es un mapa cuyas unidades cartográficas sintetizan las relaciones entre el Factor Edáfico (Drenaje, Contenido de Agua Disponible, Ph y Profundidad del suelo), el Factor Morfológico del Terreno (Modelo Digital de Elevaciones, Pendientes y Orientación) y el Factor Climático (Índice heliotérmico de Huglin). El tratamiento de la información generada en las capas tratadas por un Sistema de Información Geográfica (SIG) da como resultado la cuantificación de los contenidos y la posibilidad de su tratamiento estadístico. Este método permite abordar importantes cuestiones planteadas actualmente en viticultura, como:

- Delimitación de zonas vitícolas en función de los parámetros que definen el medio y que están implicados en la calidad del producto.
- Discriminación de zonas en función de la calidad.
- Ordenación del cultivo de la vid.
- Selección de parcelas experimentales localizadas en cada una de las zonas previamente discriminadas como base a la investigación.

CONCLUSIONES

Hay problemas conocidos y diferentes partes del modelo donde se puede actuar para mejorarlo y ajustarlo según los datos obtenidos en campo, este trabajo se está realizando actualmente, y tan solo disponemos de datos

de calidad de la uva, y del viñedo de un solo período, el del 2007, pero ya se están recogiendo datos del período 2008, lo que nos dará una inmejorable herramienta para ajustar el modelo. Alguno de los problemas conocidos son la falta de información de suelos, sobre todo en la zona albaceteña de la denominación de origen, la escasa densidad de estaciones meteorológicas tanto en Albacete como en Alicante, ya que solo disponemos de datos del SIAR (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío), puesto que necesitamos datos externos al límite de la denominación de origen, para que la interpolación de datos sea correcta. En cambio en la zona de Jumilla disponemos de las estaciones meteorológicas del SIAM (Sistema de Información Agroalimentaria de Murcia) y de datos de analíticas de suelos con una densidad suficiente para hacer cartografía a escala 1:100000 de suelos, del proyecto LUCDEME (Lucha contra la Desertificación en el Mediterráneo), aunque siempre es mejor tener información actualizada, pero el coste de obtención de ésta es muy elevado debido a la gran cantidad de trabajo de campo que conlleva.

FIGURAS

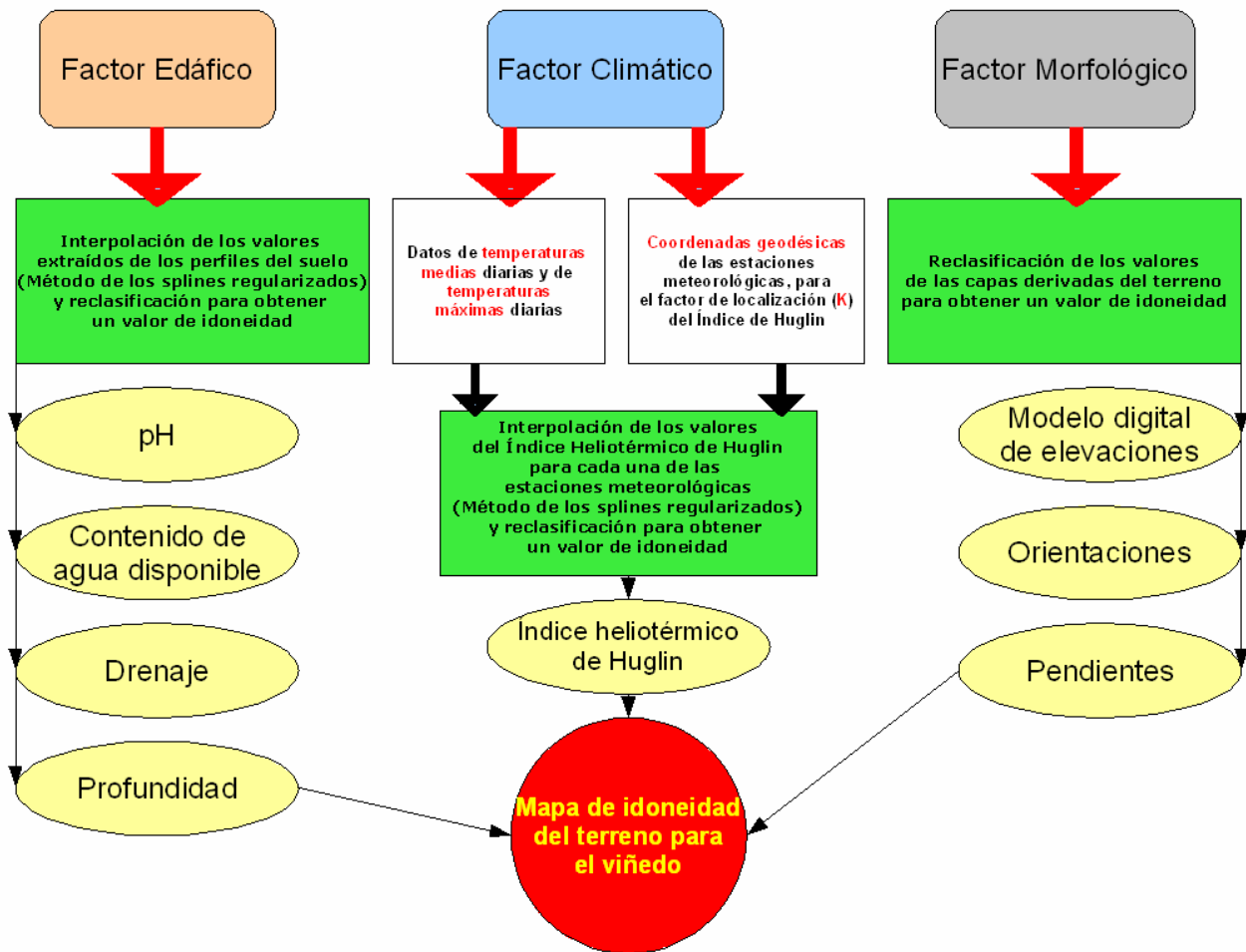


Figura 1. Esquema metodológico de la zonificación vitícola.

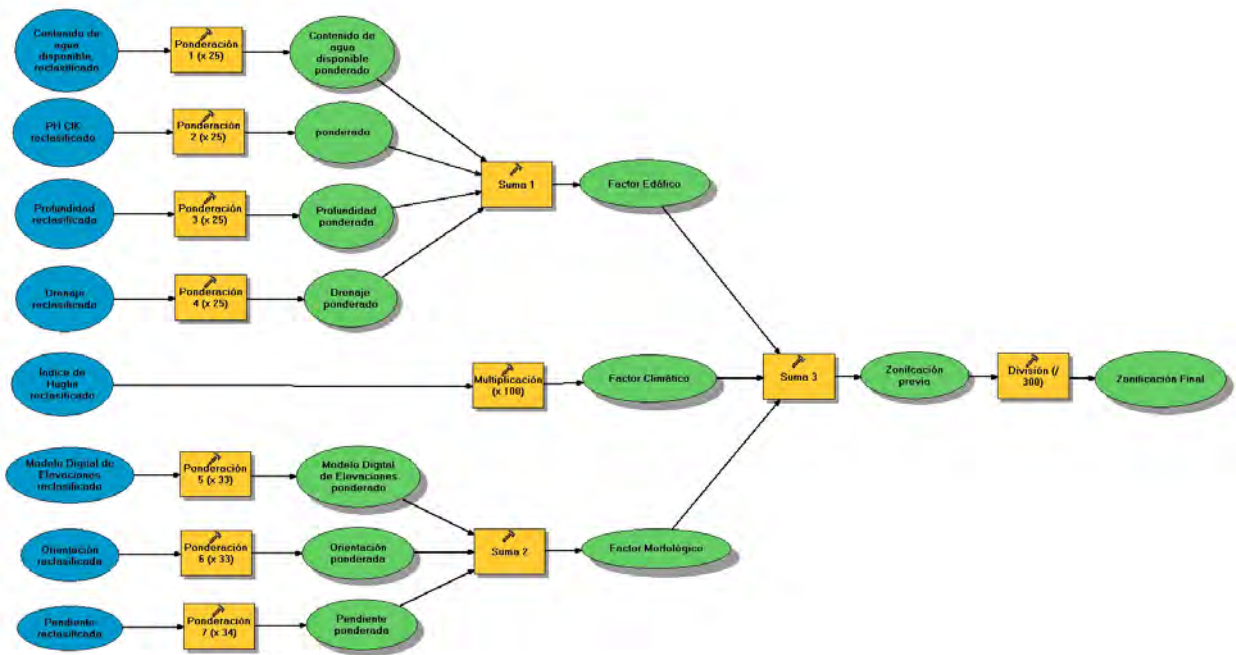


Figura 2. Cálculos del modelo de la zonificación vitícola.

Valores del factor edáfico de la zonificación vitícola

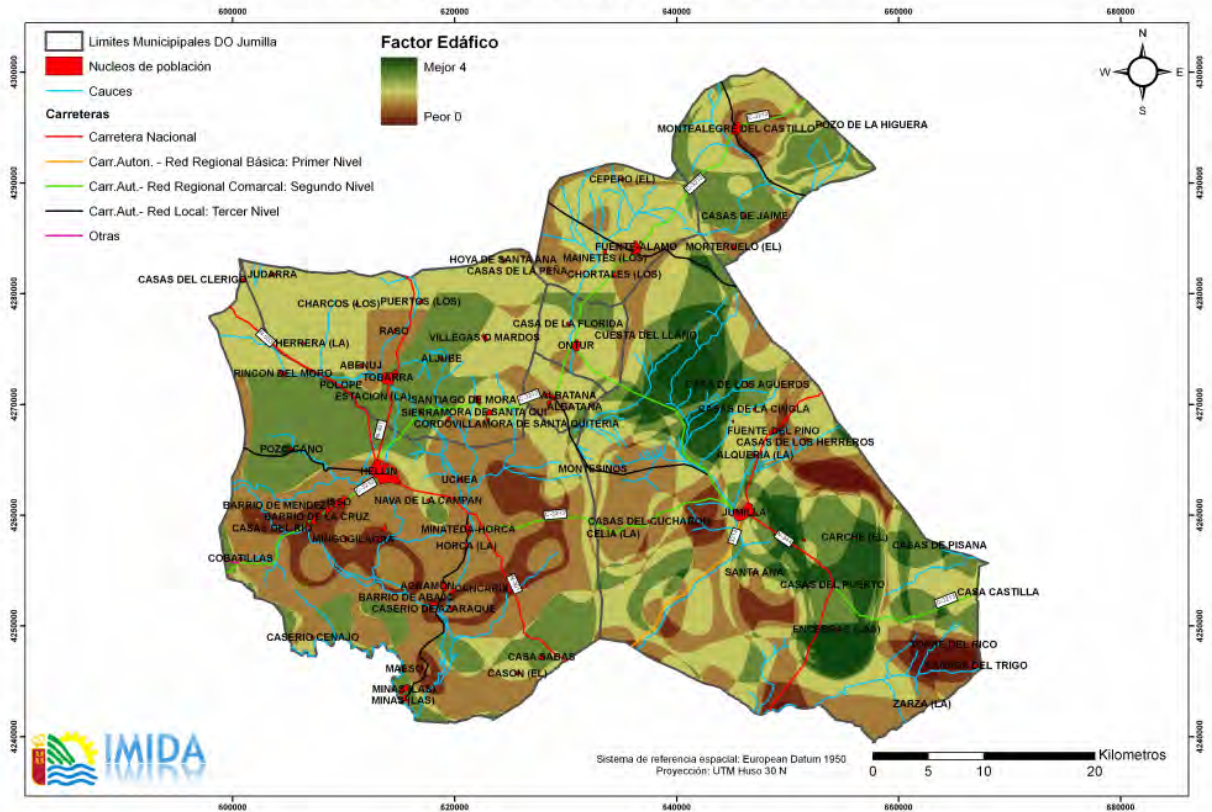


Figura 3. Mapa del factor edáfico de la zonificación vitícola.

Valores del factor climático de la zonificación vitícola

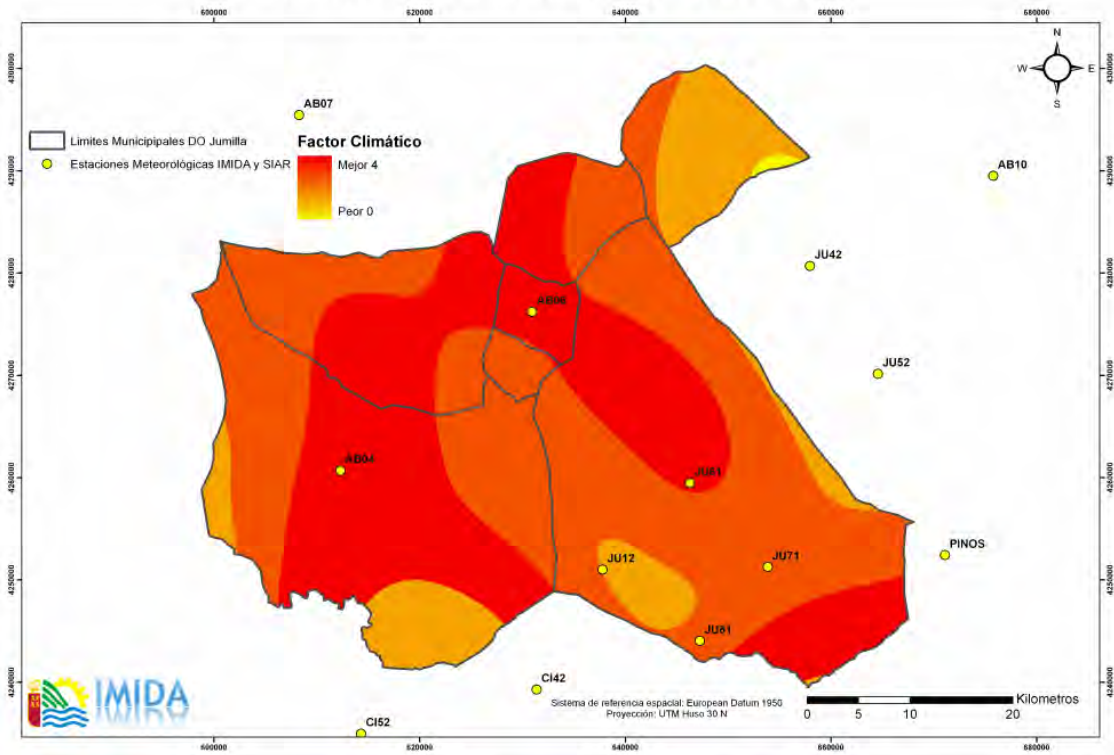


Figura 4. Mapa del factor climático de la zonificación vitícola.

Valores del factor morfológico de la zonificación vitícola

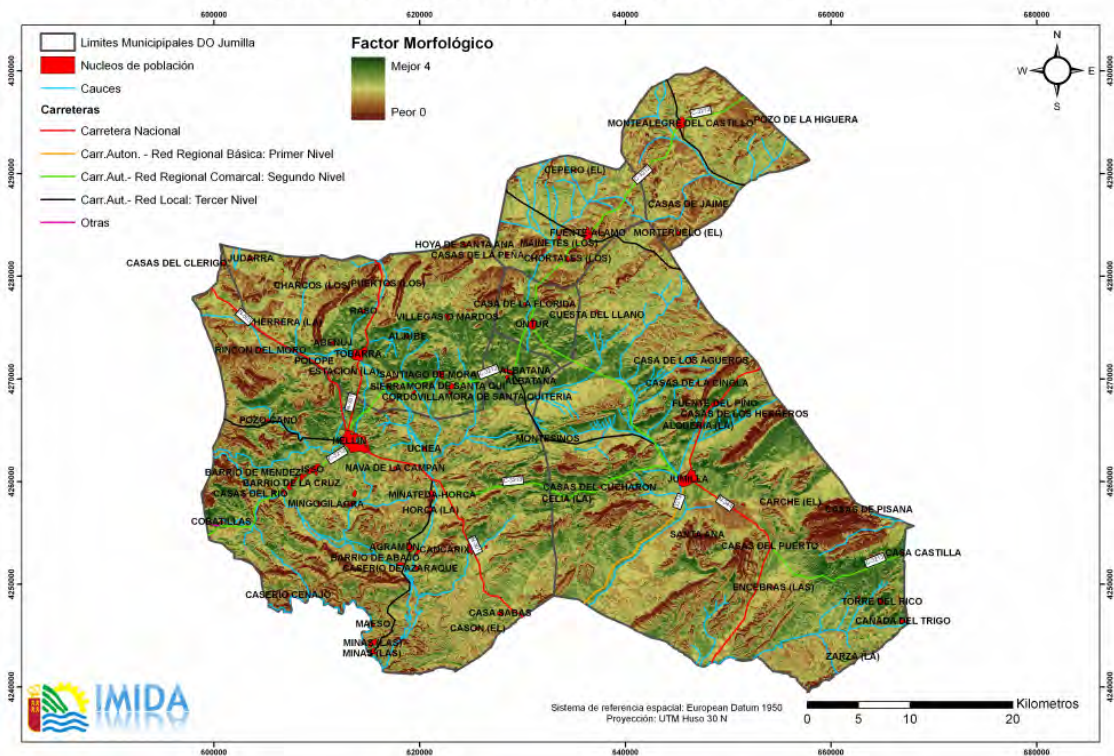


Figura 5. Mapa del factor morfológico de la zonificación vitícola.

Valores de zonificación y parcelas catastrales con uva monastrell

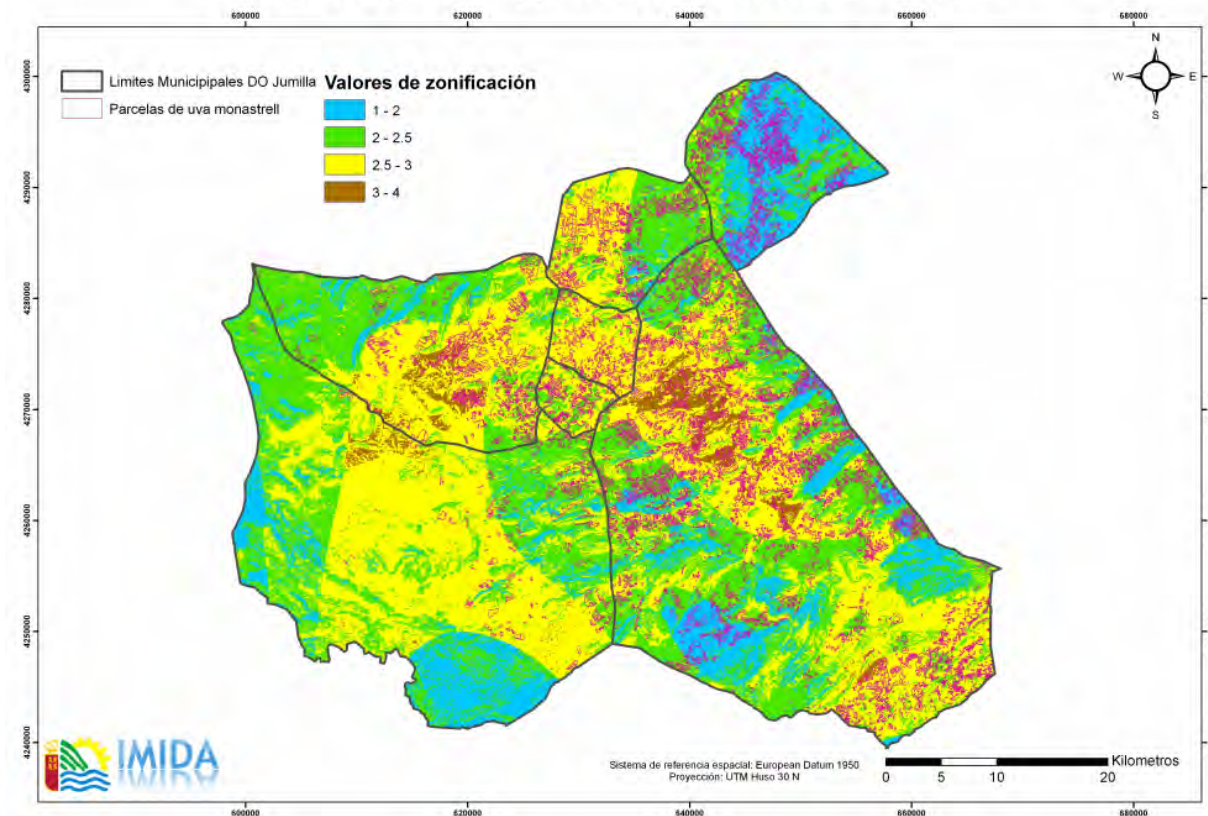


Figura 6. Mapa de la zonificación vitícola.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos su ayuda a los técnicos del Equipo de Viticultura y Enología del IMIDA,, a los técnicos de la Denominación de Origen Jumilla, a los técnicos del Sistema de Información Agraria de Murcia (SIAM), a los técnicos del IVIA y a los técnicos del Equipo de SIG y Teledetección del IMIDA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Astruc, H., Heritier, J. y Jacquinet, J.C. (1980): *Zonage des potentialités agricoles, méthode appliquée à la viticulture* Chambre Agric. Aude, 55pp.
- Becker, N.J. (1984): Propositions pour une uniformisation des critères topographiques et climatiques utilisés pour la caractérisation des sites viticoles. *Bulletin de l'O.I.V.*, 639: 383-392.
- Becker, W et al. (1994): *The effect of climate on grape ripening: application to the zoning of sugar content in the European Community*. Centre Commun de Recherche. Commission Européenne. CECA-CEE-CECA Bruxelles. 319 pp+ Mapas.
- Bogoni, M y Mela, G. (1997): Descriptive analysis of Sangiovese and Cabernet Sauvignon wine from different terroirs in Doc Bolgheri. *Coll Int. Angers*

- Branas, J., Bernon, G. y Levadoux L. (1946): *Éléments de Viticulture Générale*. ENSA Montpellier, 400 pp.
- Branas, J. (1993): Le terroir: inimitable facteur de qualité. *Prog. Agricole et Vit.*, 110, 4: 90-91.
- Carbonneau, A., Riou, C., Guyan, D., Riom, J. y Schneider, C. (1992): *Agrometeorologie de la vigne en France*. Centre Commun de Recherche. CCE.
- Constantinescu, G. (1967): Méthodes et principes de détermination des aptitudes viticoles d'une région et du choix des cépages appropriés. *Bull. l'OIV*: 1179-1205.
- Coombe, B.G. (1987): Influence of temperature on composition and quality of grapes. *Acta Horticulturae* 206: 23-35.
- Cruz, G. Munka, G. y Pedocchi, R. (2000): Caracterización Agroclimática del Uruguay. *Agrociencia*. vol. IV, 1: 87-92.
- Dutt, G.R., Mielke, E.A. y Wolfe, W.H. (1981): The use of soils for the delineation of viticultural zones in the Four Corners Region. *Am. J. Enol. Vitic.*, 32,4: 290-296.
- Duteau, J. (1981): Alimentation en eau de la vigne. Mecanismes de regulation. *Actualites Oenol. et Vitic.*:54-62.
- Falcetti, M., Iacono, F., Scienza, A. y Pinzauti, S. (1990): Un exemple de zonage en Italie du Nord: influence sur les vins. *Bull l'OIV*: 741-759.
- Falcetti, M., Scienza, A. (1991): Utilisation de l'Analyse sensorielle comme instrument d'évaluation des choix viticoles. Application pour déterminer les sites aptes a la culture du cépage Chardonnay pour la production des vins mousseux en Trentin. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 26, 1: 13-24.
- Falcetti, M., Pinzauti, S. y Scienza, A. (1992): La zonazione dei terreni vitati del Trentino. Aspetti pedologici e nutrizionali. *Vignevini*, 9: 57-64.
- Fregoni, M. (1973): Ecologia e viticoltura: adattamento degli obiettivi della produzione all'ambiente natural. *Actas Simp. Int. de la Viticultura de la Ciudad de México*, XII:9-25.
- Fregoni, M. (1980): *Nutrizione e fertilizzazione della vite*. Edagricole, Bologna, 418 pp.
- Fregoni, M. 1985. Ecosistemi viticoli ed invecchiamento dei vini. *Vignevini*, 1,2: 27-32
- Fregoni, M., Zamboni, M. Rouselli, M., Frascini, P. y Scienza, A. (1992): Ricerca pluridisciplinare per la zonazione viticola della Val de Tidone (Piazenza, Italia). *Vignevini*, 11: 53-80.
- Fregoni, M., Zamboni, M., Venturi, A., Vespignani, G., Laruccia, N., Simoni, M., Zinodi, F. y Soldi, A. (1998): La zonazione viticola della Collina cesenate. *Vignevini*, 1 / 2: 39-57.
- Gómez-Miguel, V. y Sotés, V. (1992): Metodología y primeros resultados para la zonificación vitícola de la denominación de origen Ribera del Duero. *XX World Congress on Vine and Wine & O.I.V. 72nd Assembly general*, 1, 2: 20 pp.

- Gómez-Miguel, V., Laya, H. y Sotés, V. (1993): Importancia de los factores del medio en la metodología para la delimitación de zonas vitícolas de la denominación de origen Ribera del Duero. *XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Salamanca Septiembre de 1993*, Tomo II, 945-955.
- Gómez-Miguel, V. y Sotés, V. (2001): Convergencia metodológica en los estudios detallados y muy detallados de suelos aplicados a la Microzonificación Vitícola. *26th World Congress & 81st General Assembly Of The OIV*.
- Hidalgo, L. (1980): Caracterización macrofísica del ecosistema medio-planta en los viñedos españoles. *Comun. INIA Ser. Producción Vegetal*, 29: 255 pp.
- Huglin, P. (1978): *Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole*. C.R. Acad. Agric. France: 1116-1127.
- Huglin, P. (1983): Possibilités d'appréciation objective du milieu viticole. *Bull. O.I.V.*, 56 634, 823-833.
- Jackson, D.I. y Spurling, M.B. (1990): Climate and viticulture in Australia. *Viticulture*, 1,4 Eds Coombe, B.G., Dry, P.R., Australian Industrial Publ. PTY Ltd, Adelaide, 91-106.
- Jourjon, F., Morlat, R. y Seguin, G. (1991): Caractérisation des terroirs viticoles de la moyenne vallée de La Loire. *J.Int. Sci. Vigne Vin*, 26, 2: 51-62.
- Jones, G.V., Duff, A.A. y Myers, J.W. (2006): Modeling viticultural landscapes: a GIS analysis of the viticultural potential in the Rogue Valley of Oregon. VIth International Terroir Congress 2006.
- Lisarrague, J.R. (1986): Estudio de los efectos del riego en la producción, desarrollo vegetativo, calidad del mosto y nutrición mineral en la vid. Tesis Doctor. U.P.Madrid
- Lulli, L., Constantini, E.A., Mirabella, A., Gigliotti, A., Buelli, P. (1989): Influenza del suolo sulla qualità delle Vernaccia di S. Gimignano. *VigneVini*, 1/2: 53-62
- Morlat, R., Asselin, C. (1992): Un terroir de référence pour la qualité et la typicité des vins rouges du Val-de-Loire: La craie tuffeau. *Bull L'OIV*, 735-736: 329-343.
- Morlat, R., Asselin, C., Pages, J., Léon, H. Robichet, J., Remoue, M., Salette, J., Caille, M. (1984): Le milieu viticole sa caractérisation intégrée et son influence sur le vin. *Bulletin de O.I.V.*, 643-644:707-728.
- Morlat, R., Jacquet, A. (1993): The soils effects on the grapevine root system in several vineyard of the Loira Valley (France). *Vitis*, 32: 35-42
- Morlat, R., Lebon, E. 1992. Une expérience des essais multilocaux au travers de l'étude des terroirs viticoles. *Prog. Agric. et Viticole*, 3: 55-58
- Morlat, R., Salette, J. (1977): Parametres du milieu et caracterisation du terroir en zone viticole de cru. Application auz vignobles rouges de la moyenne Valle de la Loire. *Agrometeorologie et Vigne*, N.S.:64-72
- Riou, C., Morlat, R., Asselin, C. (1995): Une approche intégrée des terroirs viticoles: discussions sur les critères de caractérisation accessibles. *Bull. de l'OIV*, 767-768:93-106.

- Scienza, A., Falcetti, M. (1990): Le zonage des vignes en pente: Étude d'un cone de dejections dans le Trentin. *Viticulture de Montagne*, 1:33-47
- Seguín, G. (1983): Les terroirs viticoles des grands crus du Bordelais. 66pp (multigrafiado)
- Silva, A. et al. (1999): Aptitud vitícola de los suelos del Uruguay. Congreso Mundial de la OIV. Paris.
- Sotés, V. y Gómez-Miguel, V. (1992): Criterios de diferenciación y delimitación de comarcas y regiones vitícolas. Examen de los factores naturales y humanos que concurren. *Vitivinicultura*, 3,5: 29-40
- Sotés, V. y Gómez-Miguel, V. (1992): Delimitación de zonas vitícolas en la D.O. Ribera de Duero. ETSIA. Universidad Politécnica de Madrid.
- Sotés, V., Gómez-Miguel, V. y Mendiola, M.A. (1992): El Clima de la D.O. Ribera del Duero. In: J.M. Ferrer (Ed). *La Ribera del Duero*, Ed. Caja España, p.25-34
- Sotés, V., Gómez, P. y Gómez-Miguel, V. (1993): Zonificación vitícola en la D.O. Ribera de Duero. *Actas de Horticultura*, 9:744-750.
- Sotés, V., Gómez, P., Laya, H. y Gómez-Miguel, V. (1994): Cuantificación de las variables implicadas en la delimitación y caracterización de Zonas Vitícolas en la D.O. Ribera del Duero. 7ª Jornadas de G.E.S.C.O. Valladolid. *Actas I*:248-256.
- Sotés, V., Gómez-Miguel, V. (1995): Delimitación de zonas vitícolas en la D.O. Calificada Rioja. ETSIA. Universidad Politécnica de Madrid.
- Sotés, V, Gómez-Miguel, V. y Gómez, P. (1996): Caractérisation du terroir en Espagne: méthodologie de l'évaluation et de la validation. XXI Colloque Int. les Terroirs Viticoles. Angers, France, 17-18 juillet 1996
- Tonietto, J. (2000): Le climat mondial de la viticulture et la lite des cépages asocies. Systeme de classification climatique multicritères (CCM) des régions à l'échelle viticole. OIV, groupe zonage viticole. Session 6 mars 2000. 27 p.
- Tonietto, J. y Carbonneau, A. (2000): Système de Classification Climatique Multicritères (CCM) Géoviticole. In: Simposio Internacional Zonificación Vitivinícola, 3., Tenerife, pág. 1-16.
- Tonietto, J. (2001): Valorização do Ecosistema. Importancia da Regionalização Vitivinícola na produção de Vinhos de Qualidades. In. VII. Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología. pág. 1-9.

Castillejo González, I. L.; García-Ferrer Porras, A. ; Sánchez de la Orden, M. ; García Castillo, R. y López Granados, F. (2008): Análisis de técnicas de clasificación de imágenes satélite basadas en píxeles y objetos para la planificación y gestión de recursos naturales. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 11-20. ISBN: 978-84-96971-53-0.

ANÁLISIS DE TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES SATÉLITE BASADAS EN PÍXELES Y OBJETOS PARA LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES.

Castillejo González, I. L.¹; García-Ferrer Porras, A.¹; Sánchez de la Orden, M.¹; García Castillo, R.² y López Granados, F.³

(1) Dpto. Ingeniería Gráfica e Ingeniería y Sistemas de Información Cartográfica, Universidad de Córdoba. Campus Universitario de Rabanales. Crta. N-IVa , Km. 396, 14071 Córdoba. ilcasti@uco.es

(2) Unidad de Técnicas Geoespaciales, Servicio Central de Apoyo a la Investigación (SCAI), Universidad de Córdoba. Campus Universitario de Rabanales. Crta. N-IVa , Km. 396, 14071 Córdoba.

(3) Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Apdo. 4084, 14080 Córdoba.

RESUMEN

Para una correcta planificación y gestión de los recursos naturales, tanto agrarios como forestales, es necesario desarrollar metodologías que permitan la caracterización y evaluación de estos recursos de forma rápida y eficiente. Actualmente existen distintas técnicas para determinar los diferentes usos del suelo entre las que destaca la clasificación con imágenes satélite, que ofrece en muchos casos unos resultados muy prometedores.

A raíz de ello, se ha planteado como objetivo de este trabajo el análisis de técnicas de clasificación basadas en objetos, comparándolas con las tradicionales técnicas de clasificación basada en píxeles. Para ello, se plantea el estudio de dos zonas geográficas diferentes de una imagen QuickBird multispectral y otra fusionada, con objeto de evaluar cómo le afectan a estas técnicas la variabilidad tanto a nivel geográfico (usos del suelo, textura y tamaño medio parcelas) como a nivel de resolución espacial.

Los resultados obtenidos muestran que las técnicas de clasificación orientadas a objetos pueden ser de gran interés en la producción de cartografía de usos del suelo al obtenerse mejoras sustanciales en la fiabilidad de la clasificación respecto a las tradicionales clasificaciones basadas en píxeles.

Palabras Clave: Cartografía ambiental, Fusión, QuickBird, Segmentación imágenes, Teledetección.

ABSTRACT

For a correct planning and management of natural resources, both agrarian and forest, it is necessary to develop technologies that allow the characterization and evaluation of these resources efficiently. Nowadays among the existing technologies to determine the different uses of the soil emphasizes images satellite classification, which offers in many cases promising results.

The aim of this work is the analysis of object-based classifications, comparing them with the traditional pixel-based ones. A study of two geographical zones of multispectral and pan-sharpened QuickBird imagery has been achieved, to evaluate the effects of the geographical variability (land uses, texture and average plot size) and spatial resolution in these technologies.

The obtained results show that object-based classifications can be very interesting in land use cartography production because these techniques improve the classification accuracy compared to pixel-based ones.

Key Words: Environmental cartography, Pan-sharpened image, QuickBird, Remote Sensing, Segmentation.

INTRODUCCIÓN

El control de los recursos naturales terrestres, tanto agrarios como forestales, es una preocupación que siempre ha estado ligada al ser humano. Para ello se han desarrollado técnicas, entre las que destaca la teledetección, que permiten conocer las distintas cubiertas de la superficie terrestre y sus características.

Existen gran cantidad de estudios basados en técnicas de teledetección que permiten inventariar el uso del suelo tanto a nivel agrario como forestal (Oetter et al., 2001; Schmidt et al., 2003; South et al., 2004). La mayoría de las clasificaciones del uso del suelo por teledetección están basadas en la información de cada píxel de la imagen como una unidad básica e independiente de estudio. Sin embargo, y debido a que el terreno es continuo, mucha información está contenida en la relación entre píxeles adyacentes, lo que permite la identificación de objetos formados por píxeles con características comunes. Estos objetos son creados mediante procesos de segmentación basados en algoritmos que toman píxeles semillas y determinan el crecimiento alrededor de ellos en base a ciertos criterios de homogeneidad (Yu et al., 2006). Los objetos así creados no están caracterizados sólo por sus características espectrales sino también por características de forma, que han limitado la forma de agruparse entre ellos. En este caso la clasificación no está basada en los píxeles sino en los objetos como mínima unidad de información.

La clasificación digital del uso del suelo mediante teledetección consiste en asociar áreas en base a un criterio común, por ejemplo, un patrón de respuesta espectral similar en las distintas bandas utilizadas en el estudio. Este proceso puede verse favorecido si previamente a la clasificación, se ha realizado un proceso de agrupamiento o segmentación basado en las mismas características que se van a utilizar en la clasificación o incluso en otras que pueden mejorar la definición de territorio. De esta forma, el análisis basado en objetos tiene la ventaja de trabajar con más información que la disponible únicamente con los píxeles. Así, mientras que la información en un análisis basado en píxeles es la respuesta espectral de todos los píxeles en cada banda, el análisis basado en objetos maneja, además de información espectral, información espacial basada en el tamaño, forma y contexto de cada objeto. Por tanto, de acuerdo con Benz et al. (2004), el análisis orientado a objetos puede contribuir a análisis automáticos y semiautomáticos más potentes para la mayoría de las aplicaciones en teledetección. Esto se debe a que se mejora la eficiencia del tiempo empleado y del análisis subjetivo con medidas in-situ y, por tanto, la calidad de la información geográfica final puede ser aumentada a la vez que se reducen los costes.

El objetivo principal de este trabajo es analizar el comportamiento de la segmentación en dos imágenes digitales de distinta resolución espacial y evaluar el efecto de los objetos en la clasificación de usos del suelo agrarios en comparación a la clasificación por píxeles.

MATERIALES

Área de estudio

El área de estudio se encuentra alrededor de Montilla, provincia de Córdoba (España). Presenta un clima Mediterráneo continental caracterizado por veranos secos e inviernos suaves en un terreno relativamente plano con una altura media de 380 m sobre el nivel del mar. El análisis se ha desarrollado en dos zonas en las que se ha buscado diferencias a nivel de tamaño medio de las parcelas y tipos de cultivos predominantes. La figura 1 representa las zonas de estudio con 546 ha en la zona 1 (a) y 368ha en la zona 2 (b).



Figura 1. Área de estudio: a) zona 1 y b) zona 2.

El esquema de clasificación se ha diseñado para la evaluación del uso del suelo, que en este caso se caracteriza por ser principalmente agrario. Los principales usos que se observan en la zona son olivar (*Olea europea* L.), viñedos (*Vitis vinifera* L.), cultivos de verano (*Helianthus annuus* L. principalmente), arboleda de rivera (*Morus alba* L., *Eucalyptus globules* Labill y *Populus nigra* L.), rastrojos de cereales de invierno (*Triticum durum* L. principalmente), suelo desnudo, carreteras y ciudad.

Para el proceso se han tomado muestras aleatorias de usos del suelo por toda la imagen. El proceso de campo se ha basado en georreferenciar distintas áreas para cada categoría de clasificación con una superficie proporcional a la estimada en la zona de estudio. Las áreas de entrenamiento se han utilizado para definir el comportamiento espectral de cada categoría en el proceso de clasificación. Por su parte, las áreas de verificación se han utilizado para valorar la fiabilidad de cada una de las categorías clasificadas y obtener la calidad total de la clasificación.

Imágenes satélite y procesado

La imagen utilizada en el estudio ha sido tomada por el satélite QuickBird el 10 de julio de 2004. QuickBird ofrece una imagen monobanda pancromática con una resolución espacial de 0.7 m y una imagen multiespectral, de resolución espacial de 2.8 m, cuyas 4 bandas recogen la siguiente información del espectro: azul (B: 450-520 nm), verde (G: 520-600 nm), rojo (R: 630-690 nm), e infrarrojo cercano (NIR: 760-900 nm). La resolución radiométrica de trabajo es de 8 bits. Se han realizado correcciones radiométricas y geométricas anteriormente al estudio.

Para poder trabajar con una imagen de mayor resolución espacial y espectral que la que ofrece QuickBird, se han fusionado las imágenes multiespectral y pancromática mediante el método AWLP (Otazu et al., 2005), una generalización del método *additive wavelet decomposition* (AWL) descrito por Núñez et al. (1999). Esta técnica basada en transformadas wavelet preserva la información espectral original de la imagen multiespectral al introducirse el detalle espacial de la imagen pancromática en cada banda de menor resolución espacial de la imagen multiespectral (Otazu et al., 2005). Como resultado de este proceso de fusión se obtiene una imagen espectralmente similar a la imagen multiespectral (4 bandas) con una resolución espacial equivalente a la pancromática (0.7 m). Para estimar la calidad global de la imagen obtenida se calculó el índice ERGAS (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse), el cual obtuvo un valor de 2.107. Mientras menor sea el valor del índice ERGAS, mayor es la calidad espectral de las imágenes fusionadas. Se consideran imágenes de buena calidad espectral a aquellas cuyo ERGAS es inferior a 3 (Wald et al, 2002).

Las clasificaciones se han realizado en las zonas de estudio 1 y 2 sobre píxeles y sobre objetos como mínima unidad de información tanto para la imagen multiespectral como para la fusionada.

METODOLOGÍA

Segmentación

La segmentación subdivide la imagen en regiones. Este proceso puede mostrar un gran número de soluciones diferentes, siendo la mejor aquella que muestre los objetos más cercanos a las entidades reales.

Para este estudio se ha utilizado el programa Definiens Developer 7.0, que incorpora como algoritmo de segmentación el Fractal Net Evolution Approach (FNEA). Este proceso sirve para generar una imagen de objetos como primer paso para una clasificación posterior u otro procesamiento (Baatz & Schäpe, 2000). Las imágenes han sido procesadas por un algoritmo de segmentación multiresolución ascendente (*multiresolution bottom up region-merging approach*), en el cual el objeto más pequeño de una imagen está formado por un píxel. Los objetos son generados en base a distintos criterios ajustables: escala (parámetro de control del tamaño de los objetos), color (información espectral) y forma (información de suavidad de contornos y compacidad en la formación de los objetos). La segmentación multiresolución es un procedimiento optimizado que minimiza, para un número dado de objetos en la imagen, la media de la heterogeneidad (Definiens, 2007) y produce objetos altamente homogéneos para resoluciones arbitrarias en diferentes tipos de datos (Baatz & Schäpe, 2000).

La segmentación multiresolución permite, para diferentes escalas de segmentación, representar la información de la imagen en diferentes resoluciones espaciales simultáneamente mediante una red jerárquica. Esta red permite obtener información entre objetos que se encuentran en el mismo nivel (vecinos horizontales) y entre objetos en diferentes niveles de escala (vecinos verticales). Aunque estas relaciones generan una gran cantidad de información, en este estudio, y para mostrar la gran potencialidad de esta técnica, sólo se va a utilizar la información espectral equivalente a la información que muestra el píxel de una imagen, es decir, el valor espectral medio de cada objeto en cada banda.

Clasificación y fiabilidad

El método de clasificación utilizado en el estudio es el de máxima probabilidad, también llamado máxima fiabilidad. Este método considera que los niveles digitales en el seno de cada clase se ajustan a una distribución normal, lo que permite describir cada categoría de clasificación por una función de probabilidad a partir de su vector de medias y su matriz de varianza-covarianza. El cálculo se realiza para todas las categorías que intervienen en la clasificación, asignando el píxel a aquella que maximice la función de probabilidad (Chuvieco, 2002).

Para poder realizar correctamente la comparación, cada una de las imágenes ha sido clasificada aplicando las mismas áreas de entrenamiento y verificación, independientemente de si la unidad mínima de información utilizada en la clasificación es el píxel o los objetos. Las imágenes originales presentan 4 bandas de píxeles y las imágenes segmentadas presentan 4 bandas formadas por objetos.

El grado de acierto de la clasificación se ha analizado a partir de matrices de confusión, las cuales determinan la fiabilidad del análisis comparando el porcentaje de píxeles clasificados de cada categoría con la verdad-terreno muestreada, mostrando los datos correctos y el error entre clases estudiadas (Congalton, 1991). De la matriz de confusión se obtiene la fiabilidad global de la clasificación, calculada al dividir los píxeles clasificados correctamente entre el número de píxeles totales en la imagen. Por otro lado, el estadístico Kappa mide la diferencia entre el acuerdo mapa-realidad observado y el que cabría esperar simplemente por azar para delimitar el grado de ajuste debido sólo a la exactitud de la clasificación, prescindiendo del causado por factores aleatorios (Chuvieco, 2002). La fiabilidad global y el coeficiente Kappa se ha calculado para cada una de las clasificaciones realizadas.

Debido a la heterogeneidad del uso del suelo, en la clasificación digital se genera ruido, que puede disminuir la calidad de la clasificación. Para mejorar los resultados se aplica un filtro de mayoría. El software utilizado en el proceso de clasificación es ENVI 4.3 (Research Systems Inc. 2006).

RESULTADOS

Las tablas 1 y 2 muestran la fiabilidad global y el coeficiente Kappa obtenido en cada clasificación, basada en píxeles u objetos, de las imágenes multiespectral y fusionada en la zona 1 y zona 2. La figura 2 muestra las

clasificaciones de usos del suelo de la zona 1 que han obtenido mayor fiabilidad global para la imagen multiespectral (a) y fusionada (b). La figura 3 muestra el mismo ejemplo de mejor clasificación para la zona 2 con información multiespectral (a) y fusionada (b).

Las tablas 1 y 2 revelan importantes diferencias en la fiabilidad global (FG) y el coeficiente Kappa (K) entre las clasificaciones basadas en píxeles y las basadas en objetos. Con objetos como unidad mínima de información en la clasificación se obtienen mejoras de fiabilidad en todas las situaciones estudiadas respecto a las obtenidas con píxeles, con resultados de FG superiores al 90% en la formación de objetos más beneficiosa para la clasificación. Así, las mejores FG obtenidas son 93.51% y 95.09% para las clasificaciones de la imagen multiespectral y fusionada de la zona 1 (Figs. 2a y 2b) y 95.39% y 95.40% respectivamente para la zona 2 (Figs. 3a y 3b). Los valores de K oscilan entre 0.92 y 0.94.

En el estudio de la zona 1 (tabla 1), se observa un aumento entre el 13% y 14% de la FG de la clasificación sin filtrar basada en objetos respecto a la de píxeles tanto en la imagen multiespectral como en la fusionada. Así, la FG y el K obtenidos en la clasificación de píxeles es de un 84.69% y 0.81 en la imagen multiespectral y 84.35% y 0.81 en la fusionada, mientras que en el caso de los objetos los valores ascienden a 93.48% y 0.92 y 95.09% y 0.94, respectivamente para ambos tipos de imágenes. Por su parte, tras aplicar un filtro de mayoría a la clasificación se observa menor diferencia entre los valores de ambas clasificaciones, con valores de FG de 92.58% y 87.87% para la clasificación basada en píxeles de las imágenes multiespectral y fusionada respectivamente y 93.51 y 95.09% en la de objetos.

Tabla 1. Fiabilidad global y el coeficiente Kappa de zona 1

UMI	Multiespectral				Fusionada			
	C		C+F		C		C+F	
	FG	K	FG	K	FG	K	FG	K
Píxel	84.69	0.81	92.58	0.91	84.35	0.81	87.87	0.85
SP10	92.17	0.90	92.38	0.91	90.20	0.88	90.65	0.88
SP15	92.58	0.91	92.63	0.91	90.99	0.89	91.17	0.89
SP20	92.60	0.91	92.64	0.91	91.50	0.89	91.59	0.89
SP25	93.48	0.92	93.51	0.92	92.15	0.90	92.22	0.90
SP30	92.95	0.91	92.98	0.91	92.03	0.90	92.08	0.90
SP35	91.94	0.89	91.50	0.89	93.07	0.91	93.10	0.91
SP40	91.72	0.90	91.74	0.90	94.03	0.93	94.05	0.93
SP45	90.55	0.88	90.56	0.88	94.89	0.94	94.90	0.94
SP50	90.11	0.88	90.12	0.88	93.92	0.92	93.93	0.92
SP55	89.63	0.87	89.64	0.87	94.17	0.93	94.17	0.93
SP60	89.60	0.87	89.62	0.87	93.80	0.92	93.80	0.92
SP65	87.32	0.84	87.34	0.84	94.08	0.93	94.08	0.93
SP70	59.72	0.53	59.73	0.53	93.31	0.92	93.32	0.92
SP75	77.11	0.72	77.14	0.72	94.88	0.94	94.88	0.94
SP80	57.08	0.51	57.01	0.51	93.97	0.92	93.97	0.92
SP85	52.42	0.45	52.43	0.45	95.09	0.94	95.09	0.94
SP90	44.99	0.38	45.00	0.38	92.78	0.91	92.79	0.91
SP95	64.25	0.58	64.26	0.58	92.73	0.91	92.73	0.91
SP100	64.65	0.59	64.65	0.59	91.53	0.89	91.53	0.89

C: Clasificación; C+F: Clasificación + Filtro; UMI: Unidad Mínima de Información; SP: factor de escala (Scale Parameter); FG: Fiabilidad Global; K: coeficiente Kappa.

La zona 2 (tabla 2) presenta una situación bastante parecida a la anterior. Se producen incrementos de FG entre el 8% y el 10% en las clasificaciones sin filtrar basada en objetos respecto a la de píxeles en la imagen

multiespectral y fusionada, siendo menor el incremento de la fiabilidad en el caso de clasificaciones filtradas. Los valores de FG de las clasificaciones sin filtrar y filtrada basada en píxeles son 82.07% y 91.92% respectivamente para la imagen multiespectral y 81.07 y 84.71% para la imagen fusionada. Tras la clasificación basada en objetos, los resultados de las clasificaciones de la imagen multiespectral sin filtrar y filtrada son 95.31% y 95.39% respectivamente y 95.40% y 95.42% para la imagen fusionada.

Tabla 2. Fiabilidad global y el coeficiente Kappa de zona 2

UMI	Imagen multiespectral				Imagen fusionada			
	C		C+F		C		C+F	
	FG	K	FG	K	FG	K	FG	K
Píxel	82.07	0.78	91.92	0.90	81.07	0.77	84.71	0.82
SP10	91.64	0.90	91.97	0.90	87.20	0.85	87.87	0.85
SP15	93.34	0.92	93.51	0.92	88.41	0.86	88.77	0.86
SP20	95.08	0.94	95.16	0.94	88.97	0.87	89.20	0.87
SP25	95.31	0.94	95.39	0.94	89.22	0.87	89.36	0.87
SP30	94.13	0.93	94.20	0.93	90.18	0.88	90.28	0.88
SP35	93.60	0.92	93.67	0.92	91.95	0.90	92.02	0.90
SP40	93.00	0.91	93.08	0.91	92.10	0.90	92.16	0.91
SP45	91.65	0.90	91.70	0.90	92.91	0.91	92.96	0.91
SP50	89.71	0.87	89.77	0.87	93.08	0.92	93.14	0.92
SP55	88.24	0.87	88.54	0.87	93.40	0.92	93.45	0.92
SP60	79.34	0.75	79.39	0.75	95.37	0.94	95.40	0.94
SP65	75.98	0.71	76.01	0.71	95.40	0.94	95.42	0.94
SP70	73.79	0.68	73.82	0.68	94.85	0.94	94.87	0.94
SP75	68.06	0.62	68.09	0.62	92.62	0.91	92.63	0.91
SP80	66.94	0.60	66.96	0.60	92.36	0.91	92.37	0.91
SP85	65.16	0.58	65.18	0.58	93.39	0.92	93.41	0.92
SP90	58.83	0.51	58.84	0.51	91.32	0.90	91.33	0.90
SP95	56.28	0.48	56.29	0.48	91.71	0.90	91.73	0.90
SP100	57.94	0.50	57.95	0.50	94.27	0.93	94.30	0.93

C: Clasificación; C+F: Clasificación + Filtro; UMI: Unidad Mínima de Información; SP: factor de escala (Scale Parameter); FG: Fiabilidad Global; K: coeficiente Kappa.

Evaluando el efecto de la resolución espacial en la calidad de la clasificación, se observa que tanto para la zona 1 como para la zona 2 los resultados de FG y K no varían sustancialmente entre las clasificaciones de las imágenes multiespectral y fusionada. En todos los casos la variación en los valores de FG para cada una de las zonas estudiadas de las imágenes multiespectral y fusionada es inferior al 2% tanto si se comparan las clasificaciones basadas en píxeles como las basadas en objetos. Sin embargo, las clasificaciones basadas en píxeles filtradas de la imagen multiespectral muestran resultados hasta un 7% mayores que los obtenidos al filtrar el resultados de la clasificación basada en píxeles en la imagen fusionada. De forma general se han observado mejores resultados en la clasificación basada en píxeles de la imagen multiespectral respecto a la misma clasificación de la imagen fusionada, aunque ocurre lo contrario con las clasificaciones orientadas a objetos, ya que se observan resultados ligeramente superiores en la imagen fusionada que en la multiespectral.

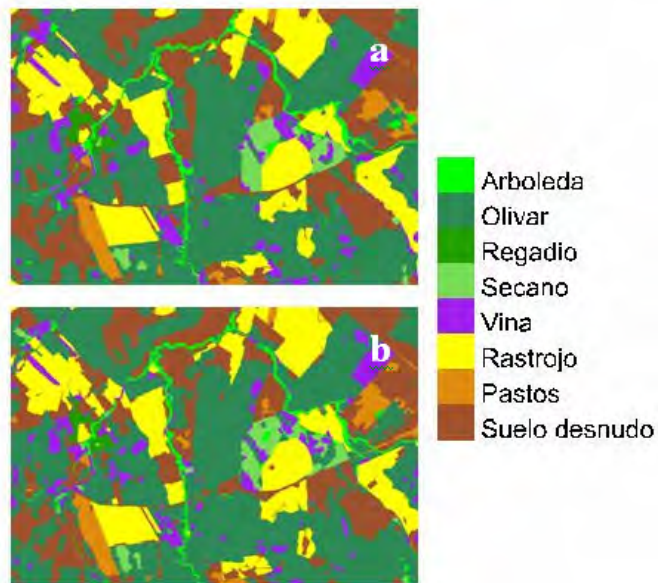


Figura 2. Mejor clasificación de la zona 1 de las imágenes a) multiespectral y b) fusionada

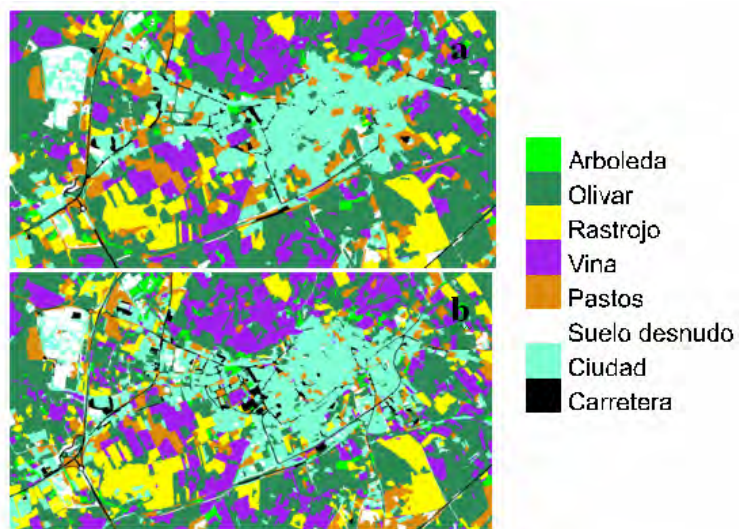


Figura 3. Mejor clasificación de la zona 2 de las imágenes a) multiespectral y b) fusionada

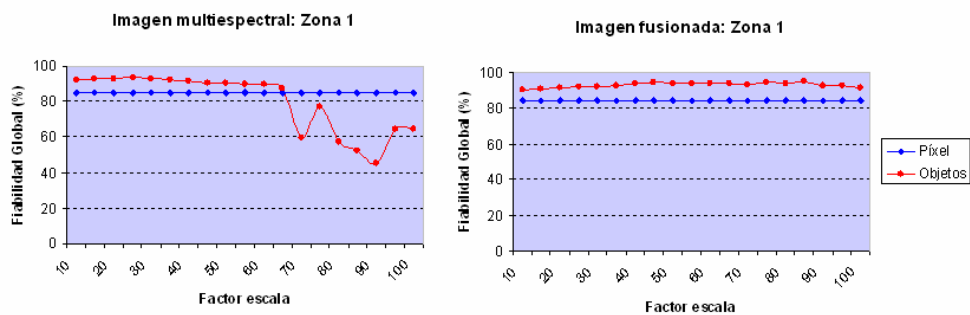


Figura 4. Comparativa fiabilidad global píxel-objetos: zona 1

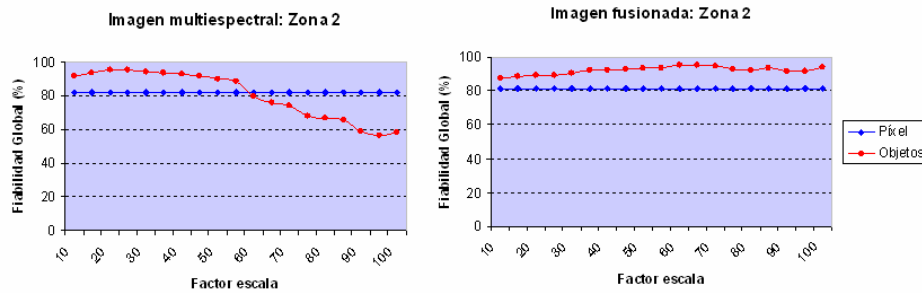


Figura 5. Comparativa fiabilidad global píxel-objetos: zona 2

En las figuras 4 y 5 se muestra la representación de la FG de las clasificaciones obtenidas para las imágenes multiespectral y fusionada en cada zona de estudio, comparando el efecto del factor de escala (SP) utilizado en la segmentación respecto al valor único obtenido en la clasificación basada en píxeles. Pese a que se han elegido dos zonas con tamaños medios de parcelas suficientemente diferentes, se observa que el comportamiento de la clasificación respecto al SP es bastante parecido, siendo lo destacado la diferencia de comportamiento que se produce debido a la resolución de la imagen utilizada en la segmentación-clasificación. Así, tanto en la zona 1 como en la zona 2 de la imagen multiespectral se observa que los resultados de la FG son mayores en las clasificaciones de objetos con SP bajos, siendo la diferencia entre las FG escasa. Sin embargo, llegado a un punto de inflexión, la FG desciende rápidamente. Por su parte, tanto en la zona 1 como la zona 2 de la imagen fusionada se observa que con todos los SP se obtienen valores de FG superiores al obtenido en la clasificación por píxel, siendo estos valores muy parecidos entre ellos. En el caso de la imagen fusionada, se tendrían que obtener segmentaciones con SP mayores para disminuir la FG de la clasificación.

DISCUSIÓN

El primer resultado que hay que destacar es que la clasificación basada en objetos obtiene mejores resultados de fiabilidad que la misma clasificación basada en píxeles. En este caso se han observado mejoras en la FG de las clasificaciones de hasta un 14% entre las clasificaciones basadas en objetos y las basadas en píxeles, llegando a valores de fiabilidad superiores al 95% en la mayoría de los casos estudiados con objetos. Esta mejoría se ha conseguido analizando sólo la información espectral que nos ofrece la segmentación (valor espectral medio de cada objeto en cada banda), que puede compararse con el valor que ofrecen los píxeles. El proceso de segmentación ofrece mucha otra información adicional relacionada con parámetros de forma, textura, relación entre resoluciones, etc., lo que haría mucho más rico el análisis y conseguiría mejores resultados.

Respecto al proceso de segmentación, se observa que el tamaño de los objetos está muy relacionado con la resolución espacial de las imágenes. En general se observa que la agrupación de píxeles formando objetos mejora la clasificación siempre y cuando no lleguen a ser tan grandes, y por tanto recojan información tan heterogénea, que las entidades reales que se quieren discriminar empiecen a mezclarse. Hasta llegado a ese factor de escala, que dependerá más de la resolución espacial de la imagen que del tamaño medio de las entidades que se quieren discriminar en la realidad, existe un abanico de agrupaciones que mejoran significativamente las clasificaciones.

Finalmente, respecto a la recomendación de utilizar la imagen multiespectral original o una fusionada, hay que tener en cuenta dos consideraciones: el aumento de fiabilidad de la clasificación obtenido con la imagen fusionada y el coste computacional o los requerimientos de conocimientos que supone obtener una imagen fusionada. Durante los últimos años muchos autores han aplicado técnicas de fusión para incrementar la fiabilidad de las clasificaciones. Por ejemplo, se han obtenido mejoras en la exactitud de clasificaciones de usos del suelo de 16% y 51% al evaluar la fusión de SPOT XS y ERS-2 SAR y Landsat TM y JERS-1 SAR respectivamente (Amarsaikhan & Douglas, 2004; Metternicht & Zinck, 1998). Estudios con imágenes de alta resolución han mostrado mejoras en la fiabilidad global de un 1.5% al evaluar la fusión de imágenes QuickBird multiespectra-

les y pancromáticas, añadiendo información textural; y mejoras de un 7% con imágenes de 11bit pero sin mejoras con imágenes de 8bit al evaluar la fusión de las imágenes multiespectral y pancromática del satélite IKONOS en evaluaciones de usos forestales y urbanos (Kosaka et al., 2005; Davis & Wang, 2002). Como se puede observar, las mejoras obtenidas con imágenes fusionadas de alta resolución no son tan destacadas como con las fusionadas con SAR y, probablemente por esas circunstancias, nuestras mejoras no son muy destacadas. No obstante, la decisión de fusionar o no las imágenes dependerán de la necesidad de alcanzar las mayores fiabilidades y el ratio coste/eficiencia que se desee alcanzar en los objetivos propuestos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amarsaikhan, D. y Douglas, T. (2004): Data fusion and multisource image classification. *Int. J. Remote Sensing*, 25: 3529-3539.
- Baatz, M. y Schäpe, A. (2000): Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multiscale image segmentation. In Strobl J. et al. (Eds.), *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Slazburg*, vol. 200. Karlsruhe: Herbert Wichmann Verlag, pp 12-23.
- Congalton, R. G. (1991): A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.
- Chuvieco Salinero, E. (2002): *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel, Madrid, 592 pp.
- Definiens. (2007). *Definiens Professional 5.0 Essential Training*. Definiens AG, München, 124 pp.
- Metternicht, G. I. y Zinck, J. A. (1998): Evaluating the information content of JERS-1 SAR and Landsat TM data for discrimination of soil erosion features. *J. of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53: 143-153.
- Núñez, J., Otazu, X., Fors, O., Prades, A., Palà, V. y Arbiol, R. (1999): Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37 (3): 1204-1211.
- Oetter, D. R., Cohen, W. B., Berterretche, M., Maiersperger, T. K. y Kennedy, R. E. (2001). Land Cover mapping in an agricultural setting using multiseasonal Thematic Mapper data. *Remote Sensing of Environment*, 76: 139-155.
- Otazu, X., González-Audicana, M., Fors, O. y Núñez, J. (2005): Introduction of sensor spectral response into image fusion methods. Application to Wavelet-based methods. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43 (10): 2376-2385.
- Schmidt, K. S. y Skidmore, A. K. (2003): Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland. *Remote Sensing of Environment*, 85: 92-108.
- South, S., Qi, J. y Lusch, D. P. (2004): Optimal classification methods for mapping agricultural tillage practises. *Remote Sensing of Environment*, 91: 90-97.
- Wald, L. (2002): *Data Fusion. Definition and Architectures- Fusion of Images of Different Spatial Resolutions*. Presses de l'Ecole, Ecole des Mines de Paris, Paris, 200 pp.

Yu, Q., Gong, P., Clinton, N., Biging, G., Kelly, M. y Schirokauer, D. (2006): Object-based detailed vegetation classification with airborne high spatial resolution remote sensing imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72 (7): 799-811.

Castrillón, M.; Jorge, P. A.; López, I. J.; Macías, A.; Martín, D.; Nebot, R. J.; Sabbagh, I.; Sánchez, J.; Sánchez, A. J.; Suárez, J.P. y Trujillo, A.: (2008): *Entorno de desarrollo de software libre para aplicaciones geográficas 3D: GEVIEMER (Gestor Virtual de Emergencias)*. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria*. Pp. 21-31. ISBN: 978-84-96971-53-0.

ENTORNO DE DESARROLLO CON SOFTWARE LIBRE PARA APLICACIONES GEOGRÁFICAS 3D: GEVIEMER (GESTOR VIRTUAL DE EMERGENCIAS)

Castrillón, M.⁴; Jorge, P. A.²; López, I. J.¹; Macías, A.²; Martín, D.²; Nebot, R. J.¹; Sabbagh, I.¹; Sánchez, J.²; Sánchez, A. J.²; Suárez, J. P.³ y Trujillo, A.²

(1) Instituto Tecnológico de Canarias.

(2) Departamento de Informática y Sistemas. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

(3) Departamento de Cartografía y Expresión Gráfica en la Ingeniería. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

(4) Instituto Universitario SIANI. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

RESUMEN

La superficie afectada por incendios en Gran Canaria y Tenerife en Agosto de 2007 (aproximadamente 35.060 hectáreas) fue similar a la quemada en los últimos 22 años en todo el Archipiélago Canario. Sin duda, en los momentos clave de incendios, cuando la prevención se ha visto desbordada, se impone una planificación y actuación en base a simulaciones predictivas que ayuden a minimizar los daños ocasionados. Los gestores virtuales por ordenador pretenden ser herramientas de ayuda en este propósito.

Se presenta un entorno de desarrollo robusto, funcional y flexible encaminado a crear aplicaciones geográficas 3D multicapa centrado, en esta etapa de desarrollo, en la aplicación a un Gestor Virtual de Emergencias¹ (Geviemer) con la capacidad de simulación y predicción del fuego en incendios forestales. Se ofrece una herramienta de utilidad para el análisis y la toma de decisiones en incendios en Canarias, con una visualización tridimensional que permite la interacción en “tiempo real”.

El entorno, desarrollado con software libre y diseñado en base a una arquitectura por capas permite adaptarlo completamente a las necesidades del usuario, ofreciendo un marco abierto a la especialización en aplicaciones concretas. Se analizan en esta comunicación los pormenores del entorno, destacando las características del diseño del software y las particularidades de Geviemer.

Palabras Clave: gestor virtual, incendios, diseño software, navegación 3D

ABSTRACT

The area affected by forest fire in Gran Canaria and Tenerife during August 2007 (ap35.060 hectares proximately) was similar to the burned area in the last 22 years in the whole archipelago. Undoubtedly, in critical moments and when foresight has been exceeded, a planning and action effort based on prediction simulations that help to minimise damages is needed. In this purpose, computer based virtual managers intend to be helpful tools.

We present a robust, functional and flexible system, that is intended to create multilevel geographical applications in 3D. In this step of development we focus on the Emergency Virtual Manager (Geviemer). Geviemer includes capabilities to simulate and predict the behaviour of forest fires. We provide an useful tool for the analysis and decisions making in forest fire in the Canarias that includes three-dimensional visualization for “real-time” interaction.

¹ Proyecto financiado por el Instituto Tecnológico de Canarias.

The provided system has been developed with open software and designed using a level based architecture that permits a full adaptation to the user requirements. As a result, we present an open framework that is suitable to implement specific applications. In this article we analyze the details of the presented system and also remark the design features of the software together with the special characteristics of Geviemer.

Key Words: virtual manager, forest fire, software design, 3D navigation

INTRODUCCIÓN

Cada año, especialmente en época de altas temperaturas, millones de hectáreas de bosques son arrasadas por incendios forestales. Esta incidencia es especialmente abusiva en países con climas relativamente “secos”, como España y otros lugares de la vertiente mediterránea, y en zonas cálidas de Estados Unidos y Australia. En particular, en las Islas Canarias, sólo la superficie afectada por incendios en Gran Canaria y Tenerife en Agosto de 2007 (aproximadamente 35.060 hectáreas) fue similar a la quemada en los últimos 22 años en todo el Archipiélago.

La respuesta institucional está siendo contundente: prevención y alta demanda de sistemas que ayuden a conseguir una óptima planificación para la extinción. Sin duda, en los momentos clave de incendios, cuando la prevención se ha visto desbordada, se impone una planificación y actuación en base a simulaciones predictivas que minimicen los daños ocasionados. En esencia, se demanda que el plan de operaciones para extinguir un incendio forestal disponga de una base sólida de información que garantice una eficaz y rápida actuación en las zonas afectadas. Sin duda, estos planteamientos son exigibles no sólo para el problema de los incendios forestales, sino para cualquier tipo de emergencia que afecte directamente a los ciudadanos o a su entorno.

Los gestores virtuales por ordenador pretenden ser herramientas de ayuda en este propósito. Por ejemplo, aplicados al contexto de incendios forestales, en Viñedo et al. (2007) se ha presentado una aplicación para la ayuda a la planificación de extinción de incendios forestales con software libre. En de Sarriá et al. (2007) el objetivo es la descripción de un sistema integrado para la gestión y dirección de incendios forestales en Andalucía. Pazos et al. (2007) desarrollan una herramienta web para la simulación de la propagación de incendios forestales, con el estándar W3C y usando básicamente software sin coste, en la que destacan las capacidades de comunicación asíncrona y en paralelo de la herramienta. Por su parte, Thon et al (2007) diseñan un sistema centrado en las capacidades de simulación y predicción del fuego en un entorno de Realidad Virtual, para la región de sur-este de Francia. En todos estos casos hay un claro interés en ofrecer herramientas informáticas eficaces que ayuden a la toma de decisiones en caso de emergencias (como puedan ser los incendios forestales), para minimizar los efectos devastadores de los mismos.

En este artículo se presenta un entorno desarrollado conjuntamente por el Instituto Tecnológico de Canarias. y la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, usando software libre y diseñado en base a una arquitectura por capas que permite adaptarlo completamente a las necesidades del usuario, ofreciendo un marco abierto a la especialización en aplicaciones concretas. Se analizan en esta comunicación los pormenores del entorno, destacando las características del diseño del software y las particularidades del Gestor Virtual de Emergencias (Geviemer), una especialización de este.

Los usuarios a los que está destinado el entorno de desarrollo son, especialmente, grupos de desarrollo particulares que puedan generar aplicaciones concretas orientadas a un potencial cliente final, y no a usuarios generalistas.

Algunos elementos característicos de nuestro entorno lo diferencian de otras plataformas conocidas en el campo de los sistemas GIS, como gvSIG² o ArcView³. En particular se destacan, (i) una interfaz gráfica que permite la visualización de terrenos y escenas tridimensionales, (ii) dispone de capacidades para la comunicación entre distintos usuarios en tiempo real, (iii) está desarrollado con software libre, mediante un entorno de desarrollo completamente abierto. Además, la conexión a servidores remotos que utilizan los estándares del Open Geospatial Consor-

² gvSIG: <http://www.gvsig.gva.es/>

³ ArcView: <http://www.esri.com/software/arcview/>

tium⁴ (OGC) para la gestión de servicios de localización geo-espaciales. Por otro lado, las características de nuestro desarrollo no son comparables de forma general con el conocido Google Earth. Si bien el sistema de visualización 3D posee similares características, el principal valor añadido de nuestro entorno está en la posibilidad de crear aplicativos concretos y específicos que interactúen con el terreno 3D. Este es el caso del Gestor Virtual de Emergencias, creado inicialmente específicamente para el ámbito de Canarias.

La estructura de este artículo es como sigue: en la primera sección describimos los objetivos del proyecto que incluyen la creación del entorno de desarrollo. En la sección 2 se da una visión general del entorno de desarrollo y en la sección 3 se describen las particularidades del diseño. La sección 4 muestra las diversas aplicaciones del entorno de desarrollo y sus posibilidades. Como ejemplo concreto de aplicación, se describen en la sección 5 las características del módulo de predicción y simulación de incendios forestales creado como *plugin* del Gestor Virtual de Emergencias. El artículo finaliza con las conclusiones.

OBJETIVOS DE PROYECTO

El proyecto ha tenido como fin la creación de un entorno de desarrollo con software libre para aplicaciones geográficas 3D a partir del cual surgió Geviemer (Gestor Virtual de Emergencias). Para el mismo, se establecieron los objetivos concretos siguientes:

1. Desarrollo de una herramienta informática de navegación 3D sobre un terreno virtual, con posibilidad de aplicar capas espaciales, e integrar objetos y otros elementos de interés geográfico.
2. Creación de un entorno de desarrollo multipropósito con arquitectura robusta en su funcionalidad, flexible en su actualización y de software libre.
3. Exposición de un ejemplo de aplicación práctica en entornos virtuales dentro de un equipo multidisciplinar fruto de la colaboración de varias entidades canarias de I+D.
4. Generación de una comunidad con filosofía de software libre alrededor del mismo.
5. Diseño de una arquitectura multicapa, siendo la última capa la de Aplicación, sobre la cual sustentar las especificidades concretas de aplicaciones geográficas 3D (simulación de incendios, catastro etc.) según las necesidades de usuario.
6. Uso de una estructura remota de acceso a datos que actúe de forma eficiente y permita obtener resultados en tiempo real.

Asimismo, se ha focalizado el proyecto para el área de las Islas Canarias y se orienta a una audiencia especializada en el dominio de la gestión de emergencias, dotándola de capacidades de simulación y predicción del fuego en incendios forestales. El producto final es la aplicación del Gestor Virtual de Emergencias, denominado Geviemer.

Como contribuciones científicas del proyecto, se ofrecen las siguientes:

1. Un entorno de desarrollo, al que denominamos Capaware.
2. Una herramienta para la navegación 3D en el terreno y desarrollado mediante Capaware aplicado a la Gestión de Emergencias (Geviemer).

⁴ Open Geospatial Consortium: <http://www.opengeospatial.org/>

3. Un módulo software (llámese *plugin*) adaptable a Capaware, que se especialice en la simulación y predicción de incendios forestales.
4. Un Servicio Web accesible a través de Internet para la realización de simulaciones y predicciones de incendios forestales

VISIÓN GENERAL DEL ENTORNO DE DESARROLLO

Capaware nace como un proyecto GPL (General Public License). Se concibe como un sistema de representación 3D de terrenos con representación multicapa de recursos de diversa tipología y con posibilidad de desarrollo de aplicativos sobre todo ello. Se trata de un módulo fundamental y en el cual se ha prestado especial atención a su diseño, por los enormes beneficios que prestarán a los distintos tipos de aplicación posibles.

Capaware permite, en pocas palabras, desarrollar entornos 3D geográficos multicapa. La potencia de poder realizar aplicativos directamente sobre un terreno 3D abre un amplio abanico de aplicaciones a Capaware. Con su ayuda puede hacerse una composición de lugar del escenario de trabajo para poder visualizarlo en tres dimensiones y actuar en diversos campos específicos que impliquen una mejora de la gestión de nuestro entorno natural. Es posible crear capas con elementos 3D, capas de imágenes ráster y vectoriales, capas asociadas a bases de datos y tablas, etc.

El producto software obtenido permite la visualización de grandes extensiones de terrenos ya que usa en todo momento la mínima cantidad de información necesaria para mostrar la porción de territorio observada. Aquellas partes que no son visibles no se procesan, por lo que las cargas al procesador son las mínimas necesarias en todo momento. El usuario puede interactuar con la escena e incluir fácilmente información diversa dentro del terreno.

El entorno dispone de un importante gestor de contenidos. Los usuarios pueden insertar y manipular diversos contenidos en la escena. Pueden añadir elementos tridimensionales, consultar información sobre los mismos y modificar sus propiedades. La información se organiza en forma de árbol: a partir de un nodo raíz, el usuario puede crear carpetas contenedoras o elementos de diversa índole dentro de esas carpetas.

Capaware permite la conexión a servidores remotos que utilizan los estándares del OGC para la gestión de servicios de localización geo-espaciales. Los datos leídos a través de estos estándares se incorporan en “tiempo real” dentro de la escena, sin interrumpir la ejecución de la aplicación. El usuario, a medida que se desplaza por el terreno, va observando cómo se actualiza la información de las capas conectadas a servidores OGC. Actualmente da soporte al estándar Web Map Service (WMS) para la transferencia de imágenes geo-referenciadas y, en el futuro, dará soporte a otros estándares de esta organización (WFS, KML).

Asimismo, se da soporte a bases de datos espaciales. Se pueden crear bases de datos y tablas que soporten datos geo-espaciales así como conectarse a bases de datos en servidores remotos. Actualmente se utilizan bases de datos PostgreSQL a través de su extensión a datos geo-espaciales, PostGIS.

Por su parte, el mismo integra, dentro de su filosofía GPL, componentes de software libre para su ejecución. Concretamente estos componentes son: OpenScenograph, wxWidgets y Axis2.

La Figura 1 muestra un esquema que da una visión general de Capaware. Se distingue la tipología de clientes que hace uso de los servicios de la capa, la posibilidad de soportar diferentes *plugins* de aplicación, y el acceso a datos tanto locales como externos (OGC).

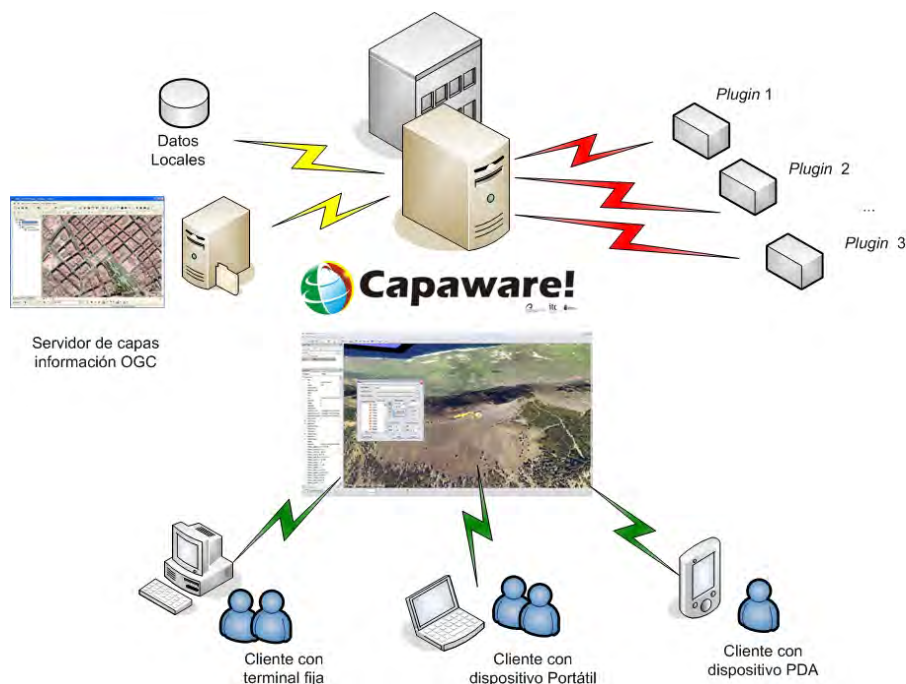


Figura 1. Visión general de Capaware

Con OpenSceneGraph como motor gráfico, Capaware permite la creación y modificación de nuevas capas de datos mediante el acceso a los servidores remotos donde se encuentran. Por otro lado, el sistema se puede ir completando con nuevas funcionalidades mediante la programación y uso de *plugins* específicos. Debido a esta escalabilidad podremos aumentar la potencia del sistema final.

La posibilidad de focalizar la herramienta sobre un territorio concreto hace posible aumentar el nivel de detalle y la cantidad de los datos y recursos usados. Asimismo, permite una orientación a la especialización en aplicaciones concretas, de forma que podemos adaptarlo a una funcionalidad singular y transformarlo totalmente para según que uso.

DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA BASADA EN CAPAS

Se ha dedicado un esfuerzo especial en el diseño software del sistema a desarrollar. En concreto se ha optado por una arquitectura en capas (ver Figura 2). En dicha arquitectura se distingue la capa más cercana al usuario final, la capa de aplicación Geviemer+*Plugins*. Esta capa constituye una aplicación para la navegación 3D sobre el terreno, con la posibilidad de utilizar capas apiladas sobre el terreno (al estilo de capas de un programa CAD) con información de interés específica según el marco de aplicación.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de capas apiladas. Las dos siguientes capas engloban las funcionalidades de Capaware. Se trata de un SDK de desarrollo abierto con capacidades para el diseño de aplicaciones particulares en un nivel superior, como por ejemplo de Geviemer. Recientemente se ha abierto un portal web con información disponible para Capaware⁵.

⁵ Capaware: <http://www.capaware.org>

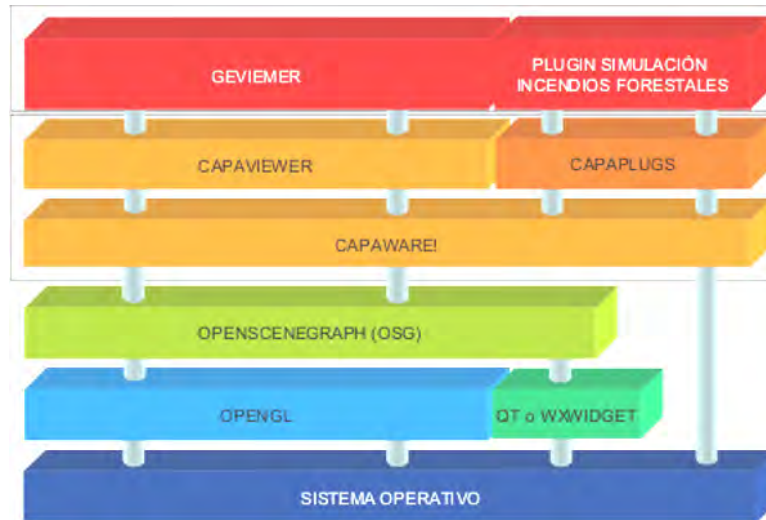


Figura 2. Arquitectura basada en capas.



Figura 3. Capas apiladas sobre el terreno del navegador de Capaware.

ALCANCE Y APLICACIONES DE CAPAWARE

La primera de las aplicaciones planteadas para Capaware ha sido el Gestor Virtual de Emergencias. Esta aplicación es una apuesta decidida en la gestión de las emergencias en Canarias con la ayuda de herramientas informáticas. En una situación real, Geviemer, gracias a sus capacidades de comunicación remota, presta sus servicios y se comunica con diversas entidades, como con diversos servicios web remotos o locales de predicción meteorológica o de predicción de incendios forestales (ver Figura 4). Asimismo, otros clientes geográficamente distantes pueden acceder interactivamente a Geviemer, con dispositivos fijos (ordenadores, terminales, etc.) o móviles (portátiles, PDA's). Finalmente, Geviemer accede en tiempo real a otros servidores, fundamentales para su funcionamiento,

como WMS, o de bases de datos geo-espaciales como PostgreSQL. La Figura 4 muestra un esquema de Geviemer, donde se aprecia su interacción con Capaware y de los componentes auxiliares para su funcionamiento.

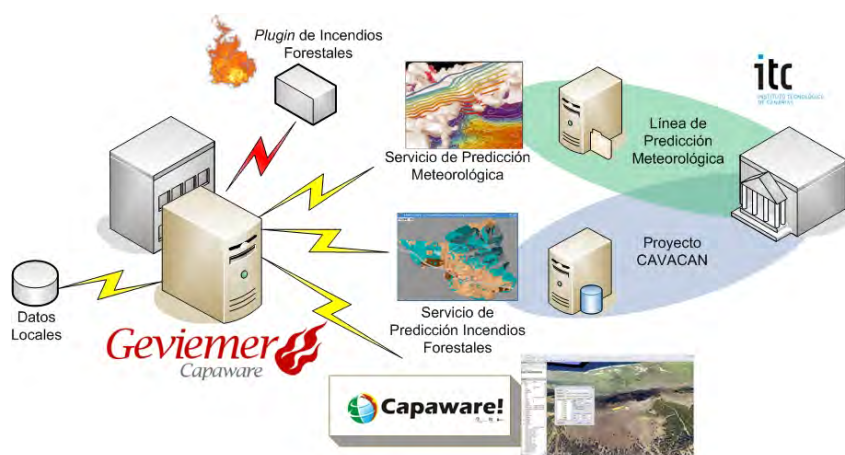


Figura 4. Esquema general del ámbito y aplicación de Geviemer

Las aplicaciones de Capaware son bastantes y muy variadas. Poder visualizar, sobre el terreno y en 3D un objeto, permite un mejor análisis, comprensión, aprendizaje, valoración y estimación de enorme valor. La Figura 5 muestra un ejemplo de responsables y técnicos ante la toma de decisiones de un evento en “tiempo real” tras una visualización del incidentes en su entorno real. Las líneas más importantes se describen a continuación:

1. **Comunicación:** Obtención de gran cantidad de datos de información precisa sobre un territorio particular, abarcando la planificación urbanística, proyectos de obra civil etc.

2. **Análisis:** Posibilidad de visualizar una representación fotográfica de un territorio en 3D con la consiguiente mejora en la evaluación final, por ejemplo en administración de terrenos, protección civil o proyectos de ingeniería civil

3. **Simulación:** Obtención de simulaciones numéricas sobre elementos del terreno, en campos de la ingeniería, medio ambiente, infraestructura viaria, fenómenos atmosféricos etc.

4. **Educación:** Inmersión virtual en las zonas geográficas analizadas para geografía e historia, ecología, geomorfología y vigilancia forestal

5. **Navegación:** Localización y control de vehículos terrestres y aéreos mediante GPS, por ejemplo para sistemas de navegación portátiles, centros de control de flotas.

6. **Gestión:** Organización y gestión de elementos sobre un territorio, registro de la propiedad, redes eléctricas, control de edificaciones entre otros.



Figura 5. Responsables y técnicos ante un evento en tiempo real

Capaware no pretende ser competencia de la aplicación *Google Earth* ni de otras muchas similares. Sin embargo Capaware posee funcionalidades y características que pueden hacerlo atractivo para diferentes grupos de trabajo relacionados con actividades en áreas geográficas.

PREDICCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES EN GEVIEMER.

Gracias a la capacidad de Capaware de soportar *plugins* específicos de aplicación, se ha dispuesto módulo para la simulación de incendios forestales en general y para cualquier zona geográfica. Con los datos cartográficos de las islas Canarias se ha desarrollado éste servicio para Canarias en concreto. A continuación se describen, en tres apartados, las características de este servicio.

Simulación del fuego

Geviemer hace uso de una versión Open Source de FARSite⁶. Se trata de un software desarrollado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos para la predicción y análisis del comportamiento de incendios forestales. El servicio de predicción de incendios forestales desarrollado para Geviemer se inscribe y complementa a la línea de predicción energética iniciada recientemente por el Instituto Tecnológico de Canarias y Red Eléctrica de España, en la cual se trabaja en la estimación de las producciones de las plataformas fotovoltaicas en Canarias. Los recursos de esta plataforma permitirán a Geviemer realizar predicciones enmarcadas en las próximas 48 horas.

Para realizar las predicciones sobre el comportamiento de los incendios, además de las condiciones meteorológicas, el servicio trabaja con modelos de combustible vegetal (condiciones de humedad y tipología de la masa forestal), cortafuegos naturales y artificiales circundantes, y variables geográficas del entorno de la zona (pendientes y orientación del terreno). Adicionalmente, se permite realizar modificaciones de las condiciones de entorno del incendio durante la simulación, retornando numerosas variables descriptivas del fuego (velocidad y dirección de propagación, intensidad del fuego, altura de las llamas, temperaturas de contorno, etc.) en distintos instantes de tiempo.

Con el asesoramiento de la Sección de Montes de la Consejería de Medio Ambiente del Cabildo de La Palma, los ajustes iniciales del servicio se han realizado para la isla de La Palma. Con su larga experiencia en la lucha contra los incendios forestales en la isla, la Sección de Montes del dicho Cabildo posee un amplio bagaje en el análisis y control de este tipo de situaciones.

⁶ FARSite: <http://www.firemodels.org/content/view/112/143/>

Visualización del fuego

Para una mejor percepción de la situación, se ha empleado mucho tiempo en la obtención de una visualización realista del fuego. Para ello se han utilizado dos sistemas de partículas: uno para la llama, y otra para el humo, ver Figura 6. La llama se ha formado a partir de varios fotogramas, tomando como referencia imágenes de fuego real, y ajustando los parámetros de las partículas (tiempo de vida, velocidad, transparencia) hasta dar con la apariencia deseada. Para el humo se han escogido partículas mucho más grandes, alternando colores grisáceos y negros.

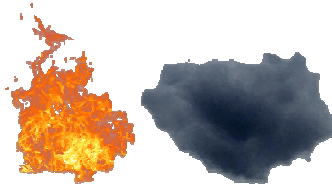


Figura 6. Representación de la llama (a) y del humo (b)

Los parámetros de cada sistema también varían ligeramente en función de la distancia a la cámara, ya que la visión que se quiere obtener es diferente. Finalmente, la dirección del humo al elevarse dependerá de la orientación y fuerza del viento en ese momento. La Figura 7 ilustra un terreno con un incendio forestal en simulación.



Figura 7. Ejemplo de terreno con la visualización de un incendio.

A medida que el fuego va avanzando, tanto si es como resultado del avance de la simulación, o por nueva información añadida por los usuarios, el perímetro del incendio va cambiando, y los sistemas de partículas van expandiéndose para coincidir con el área indicada. A su vez, el usuario tendrá en todo momento controles de tiempo para pausar, avanzar o retroceder, y así poder realizar un análisis de la evolución.

Simulación en tiempo real

El proceso de la simulación del fuego se realiza gracias a la comunicación remota en tiempo real. Capaware dispone de un módulo que permite la comunicación entre distintos usuarios en tiempo real. La comunicación se realiza en modo *Peer to Peer* (P2P) en el que cualquier usuario se puede conectar al ordenador de otro usuario cual-

quiera. Las modificaciones que realiza un usuario en su escena se ven reflejadas, automáticamente, en todos los usuarios a los que está conectado.

Asimismo, se destaca la prestación de control de animaciones y gestión temporal. Las entidades se pueden animar en la escena. La aplicación permite controlar las entidades que se animan en la escena y variar el eje temporal para ver el estado de las mismas en un instante anterior. Esto lo convierte en una aplicación 4D (3D + tiempo). El usuario puede seleccionar los elementos que quiere visualizar en el tiempo y los puede controlar en la escena a través del control de vídeo, por ejemplo para visualizar la evolución del fuego dentro de una escala temporal deseada, y tan sencillo como desplazando una barra de control de vídeo.

En la Figura 8 se ilustra un ejemplo de la interfaz de Geviemer, que muestra el navegador tridimensional sobre el terreno mostrando un foco de incendio.

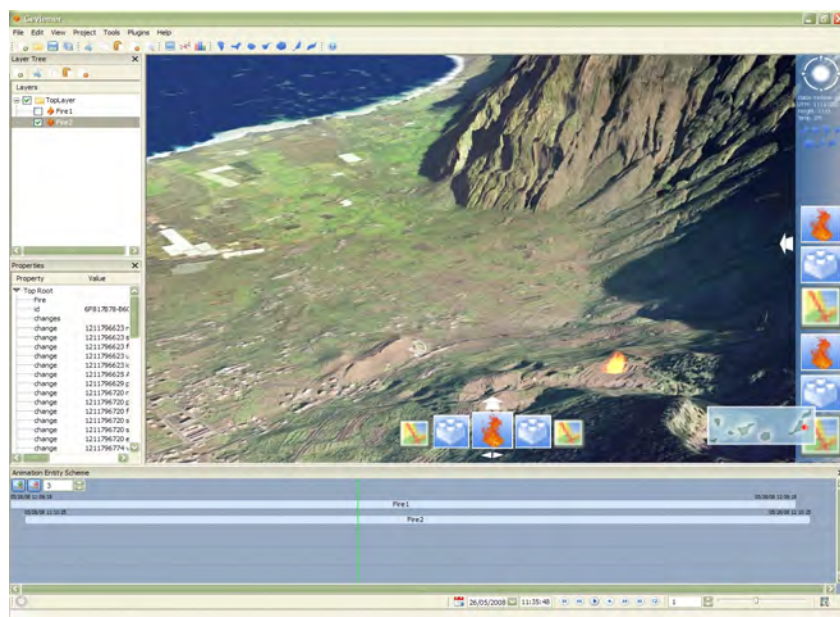


Figura 8. Interfaz de Geviemer.

CONCLUSIONES

Se ha presentado un entorno de desarrollo robusto, funcional y flexible, encaminado a crear aplicaciones geográficas multicapa, centrado en una aplicación de Gestión Virtual de Emergencias, llamada Geviemer, con la capacidad de simulación y predicción del fuego en incendios forestales. El sistema es completamente tridimensional, permite la interacción en “tiempo real”, y puede servir de mucha ayuda como herramienta de utilidad para el análisis y la toma de decisiones durante un incendio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la labor de cooperación de las siguientes entidades: Centro Coordinador de Emergencias y Seguridad 1-1-2 de Canarias, Sección de Montes del Cabildo Insular de La Palma y Cartográfica de Canarias, S.A. GRAFCAN.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Vicedo, J., Linares J., Cuesta D. y Molina A. (2007): Aplicación para la ayuda a la planificación de extinción de incendios forestales basada en software libre. *II JORNADAS DE SIG LIBRE*, Servicio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, Valencia, España. <http://www.sigte.udg.es/jornadassiglibre/>

De Sarriá, S., Yebra, R.T. y Mendoza, P. (2007): Sistema Integrado para la Gestión y Dirección de Incendios Forestales en Andalucía (SIGDIF). *WILDFIRE, 2007*, Sevilla, España.

Thon, S., Remy, E., Raffin, R. y Gesquière, G. (2007): Combining GIS and forest fire simulation in a virtual reality environment for environmental management *Architecture, City and Environment*, 2: 4.

Pazos, J.A., Varela, J., Ríos, J.R. y Cotos, J.M. (2007): Diseño e Implementación de un Servicio Web para la Simulación de la Propagación de Incendios Forestales, *IV Jornadas de la IDE de España. JIDEE2007*, Santiago de Compostela, España.

Esteve, M. (2007): Multimedia System for Emergency Management, *Jornadas de Seguimiento de Proyectos en Tecnologías Informáticas*, Madrid, España.

Fuenzalida Díaz, Manuel y Moreno Jiménez, Antonio (2008): Seguimiento de desigualdades intra-regionales por medio de indicadores cuantitativos y SIG. Análisis aplicado a la región de Valparaíso, Chile. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 32-42. ISBN: 978-84-96971-53-0.

SEGUIMIENTO DE DESIGUALDADES INTRA-REGIONALES POR MEDIO DE INDICADORES CUANTITATIVOS Y SIG. ANÁLISIS APLICADO A LA REGIÓN DE VALPARAÍSO, CHILE

Fuenzalida Díaz, Manuel¹ y Moreno Jiménez, Antonio²

(1) Doctorando, Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Autónoma de Madrid, C/ Tomás y Valiente, 1, 28049 Madrid. manuel.fuenzalida@uam.es

(2) Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Autónoma de Madrid, C/ Tomás y Valiente, 1, 28049 Madrid. antonio.moreno@uam.es

RESUMEN

En este trabajo se aborda el diagnóstico de la convergencia o divergencia en el desarrollo intra-regional durante el periodo reciente entre los municipios de la Región de Valparaíso (Chile), considerando diez reconocidos indicadores, agrupados en las dimensiones de capital humano, pobreza e higiene y salud humana. Metodológicamente se recurrió a diversas técnicas estadísticas y a la cartografía temática para, en primer lugar, medir, visualizar y valorar las diferencias territoriales existentes en dos momentos temporales y, en segundo lugar, determinar la evolución (signo e intensidad de avances o retrocesos) en cuanto a desigualdades territoriales. Los resultados han posibilitado establecer con nitidez y desagregadamente si se está produciendo dicha convergencia o no, su intensidad, forma y distribución espacial. Ello proporciona una evaluación ex post de los logros de las políticas recientes y abre la vía a eventuales medidas correctoras.

Palabras Clave: Desigualdad territorial, desarrollo territorial, análisis espacio-temporal, convergencia, Región de Valparaíso.

ABSTRACT

In this paper it is tackled an assessment of the intra-regional development convergence or divergence during the recent period among the municipalities of the Valparaiso Region (Chile), considering ten typical indicators, concerning human capital, poverty, sanitary and health dimensions. From the methodological point of view, several statistical techniques and thematic mapping are used, firstly, for measuring, visualizing and appreciating the spatial differences between two dates and, secondly, for elucidating the evolution (sign and intensity of advances and backward movements) of spatial inequalities. The results have neatly proven whether or not such convergence is going on, its strength, shape and spatial distribution. It allows an ex post assessment of the recent policy outcomes and open further corrective actions up.

Key words: Spatial inequality, territorial development, spatio-temporal analysis, convergence, Valparaiso region.

INTRODUCCIÓN

Chile en los últimos quince años ha experimentado una prolongada fase de crecimiento a una tasa del 5,5% anual (Banco Central, 2006) y ha tenido grandes éxitos en indicadores macroeconómicos reflejados, como por ejemplo, en la reducción de la pobreza del 38,6 al 13,7% para el período 1990-2006 (MIDEPLAN, 2007). No obstante, el crecimiento aún no tiene una base amplia en términos territoriales, sectoriales y sociales, por lo que se pueden observar grandes disparidades (Haldenwang, 2001), manifestadas en mayor desigualdad entre grupos sociales, regiones geográficas y sectores productivos (Ceja, 2004). Al espacializar esta situación nos encontramos con desigualdades en las condiciones para el desarrollo de las diversas áreas y, por ende, con dificultades para la buena marcha del territorio nacional como un todo (Negrete et al., 2003).

Dadas estas razones, resulta oportuno plantear el presente trabajo de investigación, intentando aproximarnos a la evaluación de las desigualdades intra-regionales que el modelo de desarrollo chileno ha impreso en el territorio, para lograr una apreciación más amplia y profunda del mismo, aunque focalizada en el caso particular de la Región de Valparaíso, que se ubica en el centro de Chile, a los 33° 1´ de latitud Sur, con 71° 38´ de longitud Oeste.

Dada la multidimensionalidad del concepto de desarrollo territorial, el planteamiento aquí no es exhaustivo, sino selectivo. El énfasis recae en demostrar las disparidades territoriales que son inherentes al *componente humano* y que, por consecuencia, condicionan la calidad de vida de ciertos grupos sociales insertos en un territorio específico. Al respecto conviene advertir que, metodológicamente, se avista un objetivo limitado: ensayar un protocolo de análisis, simple pero efectivo, que posibilite examinar de manera pormenorizada la situación y evolución de tales facetas del desarrollo. Sin desdoro de un ulterior abordaje más global y sintético, un tratamiento detallado ofrece, como es bien sabido, la ventaja de mostrar los logros de forma concreta.

En el apartado siguiente se tratan someramente algunas cuestiones conceptuales, para inmediatamente explicitar la metodología adoptada. Posteriormente se describen los resultados, para terminar con un apartado de conclusiones.

CONCEPTOS ASOCIADOS A LA DESIGUALDAD

De la revisión bibliográfica de los recientes trabajos de investigación desarrollados sobre la materia y centrados en el ámbito latinoamericano, se constata que una parte importante proviene de contribuciones desde las investigaciones regionales¹, frecuentemente interesadas en el cálculo de la desigualdad del ingreso y la pobreza relacionada a ésta; los estudios relacionados con la igualdad en la salud² son igual de numerosos y han destinado un esfuerzo substancial a precisar conceptos propios de esta problemática.

Además, se desprende de esta indagación que, de forma genérica, se entiende la desigualdad como diferencias apreciables y sistemáticas entre individuos y grupos sociales de una población dada. En las aproximaciones a su análisis cabe reconocer una notable divisoria entre las que se desentienden de la dimensión espacial de tales desigualdades y las que la integran de manera explícita. Éstas últimas, propugnadas atinadamente desde la perspectiva geográfica, parten de una teoría socio-espacial (y no exclusivamente social), lo que les permite mostrar las desigualdades allí donde suceden, es decir las desigualdades socio-espaciales, con la consiguiente ventaja diagnóstica y operativa (vid. por ejemplo Moreno Jiménez et al., 2003, cap. 2).

Habitualmente, la desigualdad es tomada con un significado cuantitativo, expresada en la comparación entre los que tienen más con los que tienen menos³, (Maluf, 1998), independiente del sentido de la variable a medir. Es por ello por lo que la aproximación útil para el seguimiento de la desigualdad, tanto en el tiempo, como entre diferentes unidades espaciales se centra en: a) el análisis de indicadores de tendencia central (nivel de la variable); b) la forma en que se reparte el total de la variable entre un conjunto de observaciones o unidades (grado de concentración); y c) la determinación de los casos favorecidos y los perjudicados con una determinada distribución y su variación en el tiempo (forma de la desigualdad) (MIDEPLAN, 2001).

Estos aspectos desarrollados comúnmente en los estudios de desigualdad pueden separarse analíticamente por medio de la aplicación de un conjunto de instrumentos cuantitativos (desde simples estadísticos descriptivos hasta complejos índices) que permiten, una vez integrados con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), proporcionar una apreciación coherente de los distintos aspectos contenidos en el estado actual y el cambio de los niveles de desigualdad, a diferentes escalas geográficas, es decir, desde desigualdades encontradas entre países a nivel mundial, hasta desigualdades encontradas entre barrios a nivel local.

1 Véanse MIDEPLAN (2001), Figueroa y Herrero (2003), Cuervo (2004) o Agostini y Brown (2007).

2 Véanse García Gómez y López Nicolás (2004), Gravelle, Morris y Sutton (2006) o De Santis y Herrero (2006).

3 Ejemplo de ellos son las comparaciones entre ricos versus pobres; integrados versus desintegrados (a una red, a la globalización, etc.); con cobertura versus sin cobertura (de atención en salud, educación), entre otras.

Asimismo, es pertinente destacar que conceptualmente la desigualdad no constituye por sí misma una denotación negativa, sino que es constitutiva de la diversidad natural y la diferencia humana. El problema surge cuando ésta tiende a la polarización, lo que deja a elementos naturales y/o humanos en condiciones de regresión, retraso o marginación.

Es por lo anterior que el diagnóstico de las desigualdades territoriales en el desarrollo y su evolución temporal constituye un asunto de permanente actualidad de cara a propiciar políticas correctoras y en esta investigación, en línea con esa premisa, se aborda el análisis individualizado de un amplio conjunto de indicadores, seleccionando diez que gozan de inequívoco reconocimiento en esta tradición de estudios, agrupados en las dimensiones de capital humano, pobreza e higiene y salud humana, intentando así representar la naturaleza multidimensional del problema.

METODOLOGÍA

Se persigue aquí medir la desigualdad en términos estáticos (univariado) y dinámicos (bivariado), con el apoyo de herramientas estadístico-gráficas de análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE) que describan y visualicen las distribuciones espaciales en el área de estudio (Buzai et al., 2006). Se adopta un enfoque territorial de escala comunal⁴, vale decir, se analiza fundamentalmente en forma comparativa intra-regional el comportamiento de aquellos aspectos de la desigualdad que se consideran más relevantes para contribuir al conocimiento del desarrollo territorial de la Región de Valparaíso.

Las unidades espaciales de análisis están referidas a 36 de las 38 comunas⁵ de la Región de Valparaíso, para las que se realiza, por un lado, un análisis estático comparativo intra-regional de la desigualdad en dos momentos: a principios de los noventa (para los años 1992 o 1994) y a comienzo del tercer milenio (2000, 2002 y 2003), según sea la naturaleza de la fuente de información y el indicador a estudiar en la dimensión de interés); y por otro, un análisis temporal de la dinámica de cambio y convergencia regional entre los años 1992 - 2002, 1994 - 2003 y 2000 - 2003, también según sea la circunstancia de los datos.

Se optó por realizar una indagación avalada mediante los oportunos análisis de los tres conceptos asociados a la idea de la desigualdad: nivel, grado de concentración y forma. Las variables de análisis serán indicadores, ya que éstos facilitan una percepción científica de problemas complejos, los cuales se agrupan en tres dimensiones conspicuas del desarrollo territorial.

La dimensión **capital humano** está representada por los siguientes cuatro indicadores: *Escolaridad promedio*, en años, para 1992 y 2002, *Tasa de cualificación básica*, en porcentaje, para 1992 y 2002, *Tasa de titulados superiores*, en porcentaje, para 1992 y 2002 y *Porcentaje de mujeres en quehaceres del hogar* para 1992 y 2002. La dimensión **pobreza** está formada por tres indicadores: *Porcentaje de desocupados* para 1994 y 2003, *Porcentaje de personas bajo línea de pobreza* para 1994 y 2003, e *Ingreso promedio*, en pesos chilenos, para 1994 y 2003. Finalmente, la dimensión **higiene y salud humana** está compuesta de tres indicadores: *Incidencia de la carencia de saneamiento en viviendas particulares*, en porcentaje, para 1994 y 2003, *Porcentaje de usuarios del sistema público de salud* para 1994 y 2003 y *Percepción negativa de atención en salud*, en porcentaje para 2000 y 2003.

Los datos de insumo para la construcción de los indicadores provienen de fuentes secundarias, realizadas en distintos tiempos e instituciones⁶. En total se trata de diez indicadores que intentan describir de forma

4 Equivalente a los municipios en la división territorial española.

5 Se excluyen del análisis las comunas Juan Fernández e Isla de Pascua, ambas correspondientes a territorios insulares, ya que no se dispone para ellas de la serie de datos necesaria para la medición de algunos de los indicadores que componen las tres dimensiones en estudio.

6 Fundamentalmente proceden de:

a. Instituto Nacional de Estadísticas (INE): XVII Censo Nacional de Población y VI Censo de Vivienda año 2002. XVI Censo Nacional de Población y V Censo de Vivienda año 1992. Estos datos se usaron para caracterizar los indicadores de escolaridad promedio, tasa de cualificación básica, tasa de titulados superiores y porcentaje de mujeres en quehaceres del hogar. El software de procesamiento de los datos utilizado fue Redatam+SP.

b. Ministerio de Planificación (MIDEPLAN): Encuesta de caracterización socioeconómica CASEN año 1994, 2000 y 2003.

suficiente la situación actual y la evolución de la desigualdad intra-regional, a escala comunal, en la Región de Valparaíso. Puesto que existen diferentes métodos estadísticos para medir el grado de desigualdad (vid. Sen, 1973, p. 24-46) se seguirá un protocolo de análisis descrito a continuación e inspirado en Moreno y Vinuesa (2006 y 2007), a fin de extraer de la información inicial resultados claros y concluyentes.








(I) Análisis estático univariado






El objetivo es presentar y valorar las diferencias territoriales existentes en cada uno de los momentos temporales.

a. *Cálculo de la desviación típica para el análisis espacial cartográfico.* Esta es una medida absoluta de dispersión que utiliza todas las observaciones de la variable atribuyéndole la misma importancia a cada una de ellas (con independencia del tamaño de cada unidad de análisis). A mayor desviación típica mayor desigualdad.

Ante la necesidad de cotejar la situación de cada indicador en momentos temporales distintos se ha llegado a la conclusión de que la representación cartográfica idónea debía seguir las pautas descritas en la tabla 1. Lo significativo de esta forma de tratar los datos es que permitirá dicha comparación, con la ventaja de que cada intervalo corresponderá a la misma desviación estándar (aunque en uno de los momentos no se presente); de ésta forma los mapas son perfectamente comparables desde un punto de vista de su lectura, aportando así una mayor comprensión del nivel de la desigualdad.

Tabla 1. Paleta de representación cartográfica con intervalos de desviación típica.

Paleta con 7 intervalos y simetría			
Intervalo	Código RGB	Apariencia	Valoración
< -2.5 SD	56 168 0		Muy bajo
-1.5 SD a -2.5 SD	111 196 0		Bajo
-0.5 SD a -1.5 SD	176 224 0		Medio bajo
-0.5 SD a 0.5 SD	255 255 0		Medio
0.5 SD a 1.5 SD	255 170 0		Medio alto
1.5 a 2.5 SD	255 85 0		Alto
> 2.5 SD	255 0 0		Muy alto

Paleta con 5 intervalos y simetría			
Intervalo	Código RGB	Apariencia	Valoración
< -1.5 SD	56 168 0		Bajo
-0.5 SD a -1.5 SD	139 209 0		Medio bajo
-0.5 SD a 0.5 SD	255 255 0		Medio
0.5 SD a 1.5 SD	255 128 0		Medio alto
> 1.5 SD	255 0 0		Alto

b. *Cálculo del coeficiente de variación (en porcentaje).* Es una medida relativa de dispersión y, por tanto, no sujeta a los problemas de unidad de medida. En este caso se relativiza por la media de la variable para contextualizar las desigualdades según los niveles medios en cada año. A mayor coeficiente de variación mayor desigualdad.

Para responder a la pregunta de hasta qué porcentaje de coeficiente de variación se puede considerar una distribución como suficientemente concentrada o dispersa, aplicaremos el siguiente criterio:

(1) Si no excede una cuarta parte se considerará pequeña, es decir, de notable homogeneidad territorial.

(2) Entre un cuarto y la mitad se considerará dispersión grande.

(3) Si excede la mitad será considerada como dispersión excesiva, esto es, indeseable desigualdad territorial.

c. *Convergencia intra-regional (índice de convergencia sigma).* La convergencia “sigma” es una medida de dispersión que indica el grado de desigualdad existente, tomando como referencia una determinada variable, por lo cual es útil para comparar la evolución temporal de los indicadores de desigualdad. Ocurrirá convergencia

Estos datos definieron los indicadores de porcentaje de desocupados, porcentaje de personas bajo línea de pobreza, ingreso promedio, incidencia de la carencia de saneamiento, porcentaje de usuarios del sistema público de salud y percepción negativa de atención en salud. El software de procesamiento de los datos fue SPSS V13.0.

intra-regional si la desigualdad se reduce a lo largo del tiempo, es decir, si el valor del índice disminuye. Se hallará divergencia si, por el contrario, la desigualdad, y el índice, es cada vez mayor. Existirá mantenimiento del statu quo si no se observan cambios significativos en el valor del índice. La fórmula es como sigue:

$$\sigma^r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln X_i - \ln X_r)^2}{n}}$$

siendo n = Número de unidades espaciales, X_i = Valor de la variable en la unidad espacial i , X_r = Valor de la variable en la región de referencia r , \ln = logaritmo neperiano.

Como señala Sen (1973, p. 28-29), esta medida tiene la particularidad de realzar la importancia de las diferencias situadas en la parte baja de la escala de valores (y correlativamente disminuir las de la parte alta), razón por la que se ha seleccionado aquí.

d. *Representación en histograma de la distribución de la variable.* Nos permitirá la comparación de la variable en dos tiempos distintos. Se complementa incorporando al histograma un “box plot” (diagrama de la caja) y un “dot plot” (diagramas de puntos) para una mejor percepción de las desigualdades territoriales.

(II) Análisis dinámico y bivariado

El objetivo ahora es apreciar la evolución, es decir, el signo e intensidad de los cambios acaecidos en el período, para determinar si hay avances o retrocesos en cuanto a desigualdades territoriales, valorando luego los mismos.

e. *Representación cartográfica de intervalos de cambios.* La forma de representación espacial de los datos, detallada en la tabla 2 facilitará la lectura de mapa. Existen 3 posibilidades o casos, que requieren una representación cartográfica coherente (tabla 2).

La primera es que todos los valores de cambios o diferencias en el período sean positivos. Se optará por los intervalos de representación en gama de rojos. La segunda es que todos los valores de cambios sean negativos. Se escogerían los intervalos de representación en gama de verdes. La tercera es que exista una mixtura entre valores positivos y negativos. Para este caso, en un mapa de 6 intervalos de datos se optaría por los intervalos de representación 1 – 3 – 6, tanto para las pérdidas como las ganancias. Esto permitirá al lector un mejor discernimiento de la tendencia y la forma de la desigualdad.

f. *Representación en un diagrama de dispersión bivariado, obtención de tendencia y correlación.* Tras representar el diagrama de dispersión de cada uno de los diez indicadores a estudiar - año inicial (en el eje X) y su variación en la década (en el eje Y)-, se calculó el coeficiente de correlación y la recta de regresión. Ante la previsión de tendencias no lineales se recurrió a otro ajuste mediante el método Loess / Lowess (suavizado móvil mediante regresión ponderada localmente debido a Cleveland y Devlin, 1988) que permite una detección más flexible y matizada para interpretar la tendencia temporal. De esta forma es posible determinar con nitidez si las comunas más desfavorecidas al principio están mejorando más, menos o igual que las más aventajadas para dirimir, como objetivo último, si las brechas se están reduciendo o no, y a qué ritmo.

Tabla 2. Paleta de representación cartográfica de intervalos de cambio

Valores positivos de cambio (ganancias).			
Intervalo	Código RGB	Apariencia	Valoración
1	225 204 204		Avance leve
2	255 169 158		Avance importante
3	252 139 119		
4	242 89 65		
5	232 58 35		
6	210 0 0		Avance significativo
Valores negativos de cambio (pérdidas).			
Intervalo	Código RGB	Apariencia	Valoración
1	209 237 0		Retroceso leve
2	187 230 0		Retroceso importante
3	159 217 0		
4	116 199 0		
5	93 186 0		
6	56 168 0		Retroceso significativo

RESULTADOS: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN

Los estadísticos sintéticos obtenidos para cada uno de los indicadores, agrupados en las tres dimensiones de análisis se muestran en las tablas 3 y 4. Las herramientas estadístico-gráficas que permitieron describir y visualizar las distribuciones espaciales de la desigualdad se muestran a modo de ejemplo en la figura 1. De ellos se han podido colegir los siguientes hallazgos.

La variable *escolaridad promedio* evidencia de forma clara convergencia intra-regional, tanto por la reducción en el índice de convergencia sigma, como por la correlación (-0,55) y pendiente negativa del diagrama de dispersión bivariado. Esto nos informa que aquellas comunas con valores iniciales más bajos de escolaridad promedio tuvieron un mayor incremento de ella en el tiempo, sucediendo lo contrario con los valores iniciales más altos. Ello habla de una reducción en la brecha de la escolaridad promedio a escala intra-regional. En 10 años de evolución positiva la media de años de escolaridad se incrementa para el conjunto de los datos de 8,46 años a 9,11 años. Para ambos años el patrón territorial de la distribución geográfica es idéntico, destacando el eje W-E entorno al río Aconcagua y el Área Metropolitana de Valparaíso para los intervalos de valoración medio alto y alto. La variación en el decenio evidencia también que el grueso de las comunas progresan en este indicador de forma similar (entre 0,47 y 0,90 años de aumento se sitúa el 50% de ellas).

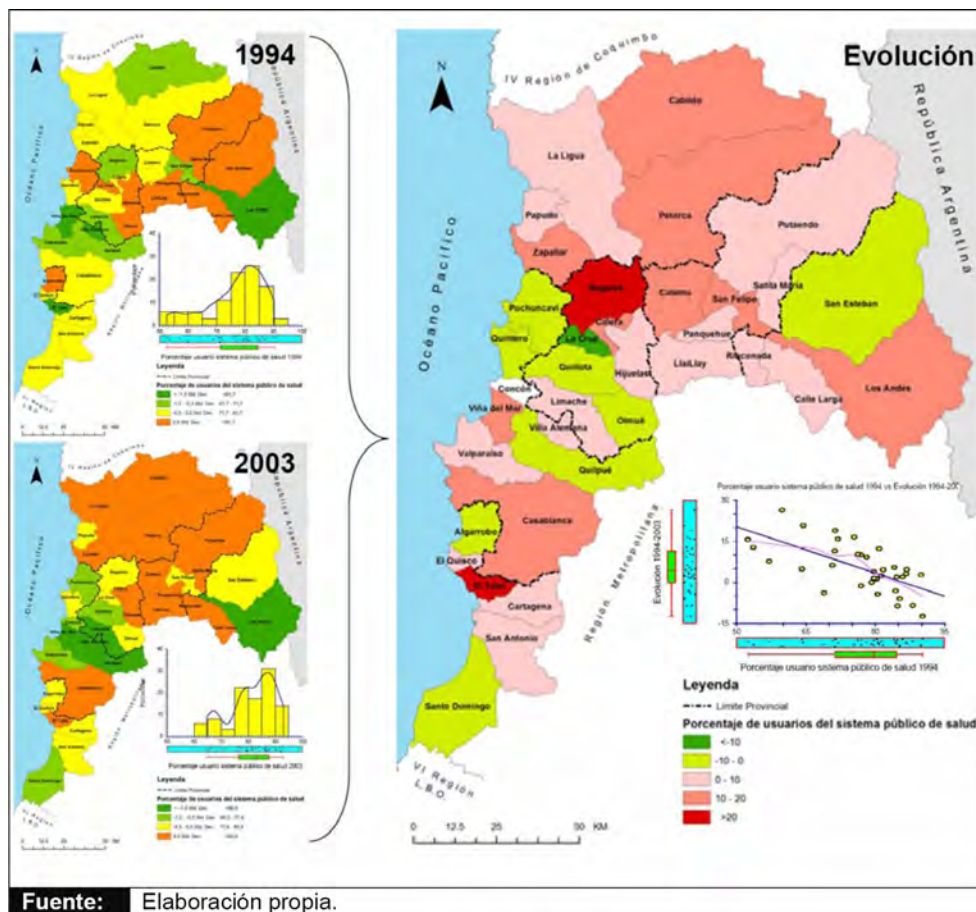


Figura 1. Herramientas estadístico-gráficas

La *tasa de cualificación básica* muestra de forma clara también convergencia intra-regional, tanto por la reducción en el índice de convergencia, como por la elevada correlación (-0,88) y la pendiente negativa del diagrama de dispersión bivariado. Se puede asegurar por lo tanto, que existe una disminución en las brechas de desigualdad, lo que permite pensar que las políticas de acceso y oportunidades a la educación obligatoria han tenido unos resultados satisfactorios entre los individuos y lugares a quienes iban destinadas. En 10 años de evolución positiva se incrementa la media en porcentaje para el conjunto de los datos de 62,27 a 80,10 lo que

representa una mejora de 28,02 para los valores mínimos y un 9,52 para los valores máximos. Para ambos años el patrón territorial de la distribución geográfica es idéntico, destacando el eje W-E en torno al valle del Marga-Marga con un rango de valoración medio alto - alto. No se detectan retrocesos en las tasas, lo que quiere decir, que ha aumentado en la población objetivo la finalización de la escolaridad básica necesaria para acceder a las oportunidades de progreso e integración social de las personas.

La *tasa de titulados superiores* evidencia una pequeña convergencia intra-regional, respaldada en una ligera reducción y mejora en desigualdades relativas (ver coeficiente de variación y convergencia sigma), si bien aflora, paradójicamente, un aumento de las diferencias absolutas (ver amplitud total y desviación típica). En 10 años de evolución positiva se incrementa la media en porcentaje para el conjunto de los datos de 12,70 a 27,80, a lo que se añade una mejora de 11,58 para los valores mínimos y un 19,61 para los valores máximos, por lo que el diagrama de dispersión bivariado presenta una correlación (0,54) y pendiente positiva. Sin duda alguna esto evidencia que en el tiempo las brechas territoriales en cuanto a titulados superiores han aumentado. Para ambos periodos el patrón territorial de la distribución geográfica es notablemente similar, destacando el eje W-E del Área Metropolitana de Valparaíso y el eje W-E de San Felipe y Los Andes en el valle superior del Aconcagua. No se detectan retrocesos en las tasas, lo que quiere decir que en general se está en mejor posición, especialmente en las comunas ya antes mejor preparadas, para la competitividad empresarial, el desarrollo de la ciencia y tecnología y el progreso en la prestación de servicios a las personas en la Región de Valparaíso.

La variable *mujeres en quehaceres del hogar* muestra cierta divergencia intra-regional lo cual, por el sentido de la variable, denota progresos desiguales en la participación laboral femenina y, por ende, en la equiparación social entre hombres y mujeres. En 10 años de evolución positiva para lo que finalmente se quiere medir, se reduce la media en porcentaje para el conjunto de los datos de 67,97 a 53,66 lo que representa una mejora de 14,81 puntos para los valores mínimos y 15,26 puntos para los máximos. Ello indica que en el tiempo las brechas han aumentado, aunque de forma mínima, casi marginal: el diagrama de dispersión bivariado genera una correlación (-0,09) y pendiente nulas. Se delinea un patrón territorial distinto en la incorporación de la mujer al mercado del trabajo en los dos periodos analizados. Destaca que el territorio más desfavorable en esta materia se limita en 2003 a un conjunto de comunas ubicadas en el centro-norte de la región, más dos comunas litorales. Se consolida el Área Metropolitana de Valparaíso y las capitales provinciales como las más favorables para el mercado laboral femenino. El avance más significativo en la evolución de la variable está situado en el litoral centro-sur de la región. En ninguna comuna se detecta incremento en las mujeres en quehaceres del hogar, lo que permite prever que la participación femenina en el mundo laboral seguirá en aumento, aunque a ritmos diferentes, según la actividad económica predominante en cada comuna.

El *porcentaje de desocupados* evidencia divergencia intra-regional entre 1994 y 2003, tanto por el aumento en el índice de convergencia, como por la correlación (-0,53) y pendiente negativa del diagrama de dispersión bivariado. Esto sin duda permite pensar que esta variable asociada a una de las principales causas de pobreza ejerce una presión sobre las brechas de desigualdad regional. En 9 años de evolución negativa para lo que finalmente se quiere medir, se aumenta la media en porcentaje del desempleo para el conjunto de los datos de 6,84 a 8,82, que se acompaña de una mejora de solo 0,27 para los valores mínimos y un empeoramiento de 2,54 para los valores máximos. Ello apunta a que en el tiempo las brechas han aumentado algo. Se delinea un patrón territorial del paro distinto en los dos periodos analizados. En 2003 existe un contexto general de peor situación de desempleo, siendo el eje W-E del Área Metropolitana de Valparaíso y las comunas de Cartagena y Nogales los más desfavorecidos. Por el contrario, el norte de la región muestra una dinámica más favorable para el mercado laboral, debido a los requerimientos de las actividades de minería y agricultura de exportación. Las desigualdades en la evolución del empleo en el centro de la región estarían contribuyendo a un cierto grado de tensión territorial en la que se ve envuelta la dinámica de la cohesión social regional.

El *porcentaje de personas bajo línea de pobreza* muestra convergencia intra-regional, lo que se puede observar en la disminución en el índice de convergencia y la elevada correlación (-0,81) y en la clara pendiente negativa del diagrama de dispersión bivariado. Esto lleva a pensar que la evolución económica y las políticas de erradicación de la pobreza y la indigencia han tenido un positivo efecto en la gente. En 9 años de evolución positiva para lo que finalmente se quiere medir, disminuye la media en porcentaje para el conjunto de los datos de 29,64 a 20,34, lo que representa una mejora de 5,59 para los valores mínimos y 12,11 para los valores máximos. Sin duda alguna, esto atestigua que en el tiempo las brechas han disminuido. El patrón territorial de personas bajo línea de pobreza es distinto en los dos momentos analizados. El interior de la región se comporta

de forma bastante homogénea, en torno a la media de pobreza. Es interesante la mejora general que experimenta el centro de la región, desde Petorca por el norte, hasta Olmué por el sur; en 1992 era un consolidado eje de pobreza, en 2003 es un consolidado eje de superación de la pobreza.

Tabla 3. Estadísticos de síntesis

Dimensión	Indicador	Año	Medidas de posición /dispersión	Convergencia sigma
CAPITAL HUMANO	Escolaridad promedio	1992	Min: 6,84 - Máx: 11,40 Media: 8,46 Desv. Típica: 1,04 Coef. Variación: 12,31	0,85
		2002	Min: 7,71 Máx: 11,08 Media: 9,11 Desv. Típica: 0,89 Coef. Variación: 9,79	0,60
	Tasa de cualificación básica	1992	Min: 38,04 - Máx: 84,08 Media: 62,27 Desv. Típica: 12,61 Coef. Variación: 20,25	1,17
		2002	Min: 66,06 - Máx: 93,56 Media: 80,10 Desv. Típica: 8,10 Coef. Variación: 10,12	0,57
	Tasa de titulados superiores	1992	Min: 4,58 - Máx: 29,00 Media: 12,70 Desv. Típica: 6,11 Coef. Variación: 48,10	3,27
		2002	Min: 16,16 - Máx: 48,61 Media: 27,80 Desv. Típica: 9,43 Coef. Variación: 33,94	2,13
Porcentaje de mujeres en quehaceres del hogar	1992	Min: 50,95 - Máx: 80,78 Media: 67,97 Desv. Típica: 7,23 Coef. Variación: 10,64	0,74	
	2002	Min: 35,69 - Máx: 65,97 Media: 53,66 Desv. Típica: 7,72 Coef. Variación: 14,39	0,96	
POBREZA	Porcentaje de desocupados	1994	Min: 2,12 - Máx: 15,28 Media: 6,84 Desv. Típica: 2,88 Coef. Variación: 42,05	1,07
		2003	Min: 1,85 - Máx: 17,82 Media: 8,82 Desv. Típica: 4,27 Coef. Variación: 48,39	2,65
	Porcentaje de personas bajo línea de pobreza	1994	Min: 14,92 - Máx: 41,64 Media: 29,69 Desv. Típica: 7,47 Coef. Variación: 25,17	0,44
		2003	Min: 9,33 - Máx: 29,53 Media: 20,34 Desv. Típica: 4,94 Coef. Variación: 24,31	0,10
	Ingreso promedio	1994	Min: 120.530 - Máx: 366.727 Media: 211.198 Desv. Típica: 57.054 Coef. Variación: 27,01	1,48
		2003	Min: 265.804 - Máx: 524.854 Media: 365.917 Desv. Típica: 71.425 Coef. Variación: 19,52	0,75
HIGIENE Y SALUD HUMANA	Incidencia de la carencia de saneamiento	1994	Min: 0,00 - Máx: 29,16 Media: 9,35 Desv. Típica: 8,18 Coef. Variación: 87,47	2,69
		2003	Min: 0,00 - Máx: 14,29 Media: 4,35 Desv. Típica: 4,20 Coef. Variación: 96,68	0,73
	Porcentaje de usuarios del sistema público de salud	1994	Min: 52,36 - Máx: 90,18 Media: 76,65 Desv. Típica: 10,14 Coef. Variación: 13,23	0,62
		2003	Min: 64,69 - Máx: 93,03 Media: 81,63 Desv. Típica: 8,16 Coef. Variación: 10,00	0,44
	Percepción negativa de atención en salud	2000	Min: 0,00 - Máx: 5,25 Media: 1,51 Desv. Típica: 1,26 Coef. Variación: 83,57	0,35
		2003	Min: 0,00 - Máx: 4,87 Media: 1,70 Desv. Típica: 1,37 Coef. Variación: 80,78	0,22

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la encuesta CASEN 1994-2000-2003 y del Censo Población y Vivienda 1992-2002. Chile.

Tabla 4. Evolución temporal de los indicadores

Dimensión	Indicador	r	Pendiente de la recta de regresión
CAPITAL HUMANO	Escolaridad promedio	-0,55	
	Tasa de cualificación básica	-0,88	
	Tasa de titulados superiores	0,54	
	Porcentaje de mujeres en quehaceres del hogar	-0,09	
POBREZA	Porcentaje de desocupados	-0,53	
	Porcentaje de personas bajo línea de pobreza	-0,81	
	Ingreso promedio	-0,28	
HIGIENE Y SALUD HUMANA	Incidencia de la carencia de saneamiento	-0,86	
	Porcentaje de usuarios del sistema público de salud	-0,65	
	Percepción negativa de atención en salud	-0,75	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la encuesta CASEN 1994-2000-2003 y del Censo de Población y Vivienda 1992-2002. Chile.

La variable *ingreso promedio* exhibe también convergencia intra-regional. Esto sin duda permite pensar que ha mejorado la distribución inter-comunal de las rentas (ingresos) con que cuentan los hogares de la Región de Valparaíso. En 9 años de evolución positiva aumenta la media en pesos chilenos para el conjunto de los datos de 211.198 a 365.917, lo que representa una mejora de 145.274 para los valores mínimos y 158.127 para los valores máximos. En los dos periodos analizados se configura un patrón territorial de ingreso promedio distinto. De esta forma, encontramos que en 2003 los territorios más desfavorecidos en esta materia están en el centro-este de la región. Se detecta un avance importante en el oeste (valle superior del río Aconcagua) y el litoral

centro (Área Metropolitana de Valparaíso). Cabe subrayar que los avances significativos están en el eje Puchuncaví-La Cruz.

La variable *incidencia de la carencia de saneamiento* muestra notable convergencia intra-regional, tanto por la disminución del índice sigma como por la elevada correlación (-0,86) y pendiente negativa del diagrama de dispersión bivariado. Este hecho, al estar asociado a otras características socioeconómicas (educación, ingresos) y contribuir a la higiene y a la calidad de vida en general, nos permite pensar que se avanza en la senda del desarrollo sostenible en la Región de Valparaíso. En 9 años de evolución positiva para lo que finalmente se quiere medir, disminuye la media en porcentaje para el conjunto de los datos de 9,35 a 4,35, lo que representa que los valores mínimos se mantienen en el deseable 0%, lo cual es propicio, y los valores máximos disminuyen en 14,87%. Se delinea un patrón territorial de carencia de saneamiento distinto en los dos periodos analizados. Se constata que en 2003 los territorios más favorables en esta materia están en el Área Metropolitana de Valparaíso, el tramo inferior del valle de Aconcagua, el eje San Felipe-Los Andes y el litoral sur. Existen tres conjuntos de falta de saneamiento; el primero está en el litoral norte, el segundo corresponde al eje Petorca-Putendo ubicado en el centro-este de la región, y finalmente el eje ubicado en la vertiente sur del valle superior del río Aconcagua. Un retroceso leve se dibuja en el litoral centro norte de la región con el eje Zapallar-Nogales, las comunas del Área Metropolitana y en el interior de la región.

El *porcentaje de usuarios del sistema público de salud* reitera los avances en la convergencia intra-regional, dada la reducción del índice sigma, la correlación (-0,65) y la pendiente negativa del diagrama de dispersión bivariado. Esto sin duda permite pensar que el sector público responde más eficazmente al mandato de asegurar la salud a todos y que, en consecuencia, se progresa en la atención igualitaria en la Región de Valparaíso. Durante los 9 años de evolución se aumenta la media del porcentaje de usuarios del sistema público de salud para el conjunto de los datos de 76,65 a 81,63, lo que representa una mejora de 12,33 para los valores mínimos y 2,85 para los valores máximos. Se puede pues aseverar que en el tiempo las brechas entre comunas han disminuido. Existe cambio en los lugares que ostentan los valores mínimos y máximos en los dos años y se conforma también un patrón territorial de usuarios del sistema público de salud distinto en los dos momentos analizados. Así, en 2003 los territorios de mayor demanda cubierta por la sanidad pública están en el centro-norte y litoral sur de la región. El avance más importante acontece en torno al centro-norte de la región, el valle superior del río Aconcagua y las comunas litorales de Zapallar, Viña del Mar y Casablanca.

La variable *percepción negativa de atención en salud*, al variar poco entre las dos fechas y ser un período muy corto (sólo tres años) insinúa tendencias a menudo poco definidas e incluso contradictorias. Los índices parecen vislumbrar una ligera convergencia intra-regional. Se detecta una disminución de 0,38 para los valores máximos y los mínimos se mantienen en un deseable 0,00%. Esto apuntaría hacia una disminución en el tiempo de las brechas absolutas. Las diferencias absolutas y relativas en ambos años parecen insinuar una tendencia contraria, disminuyendo las primeras y ascendiendo las segundas, siempre en grado bajo. En todo caso, los estadísticos de centralidad apuntan a un aumento de la insatisfacción, aunque exiguo; resulta preocupante además la relación negativa (-0,75) derivada de la comparación temporal: el juicio negativo sobre la atención en salud aumenta más donde era más bajo y viceversa.

CONCLUSIONES

El observatorio permanente de indicadores de desarrollo territorial bien reconocidos constituye una labor obligada para evaluar “ex post” los logros y resultados de la acción de los agentes públicos y privados, de cara a ejercer la crítica y reorientación de ella. En América Latina, como en otros ámbitos y a otras escalas, el asunto constituye una prioridad social inequívoca y, por ende, demandante de investigaciones científicas. A tal fin, el recurso a un conjunto de instrumentos estadísticos y cartográficos, sencillos pero efectivos, hace posible operacionalizar eficazmente el seguimiento diacrónico de las desigualdades en el desarrollo y alcanzar conclusiones fáciles de valorar, tal como el método adoptado en este trabajo ha puesto de manifiesto.

Como parte de un estudio más amplio sobre la Región de Valparaíso (Chile), en esta contribución se ha buscado realizar un diagnóstico individualizado de un conjunto de diez indicadores, alusivos al componente humano del desarrollo territorial. La dimensión capital humano fue representada por cuatro indicadores, la

dimensión pobreza por tres y, por último, la dimensión higiene y salud humana también por tres. En ocho de ellos se evidenció convergencia intra-regional durante el período examinado, mientras que en dos emergió un ligero mayor desequilibrio, imputable a desajustes socio-laborales en el proceso de desarrollo.

En resumen, el método de análisis adoptado ha logrado individualizar aquellas comunas de la Región de Valparaíso que en la práctica funcionan como “ganadoras” o “perdedoras” en el modelo de desarrollo chileno vigente. Desde el punto de vista de las políticas futuras, los resultados han identificado la existencia de un grupo de comunas que deben ser objeto de esfuerzos singulares para acercarlas y colocarlas al mismo nivel de aquellas que muestran evoluciones más favorables con respecto al desarrollo territorial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agostini, C. y Brown, P. (2007): Spatial inequality in Chile. *ILADES-Georgetown University Working Papers* investigación nº178. <http://www.economia.uahurtado.cl/pdf/publicaciones/inv178.pdf>
- Banco Central (2006): *Cuentas nacionales de Chile 1996-2005*. Departamento de Cuentas Nacionales de la Gerencia de Información e Investigación Estadística. Santiago de Chile
- Buzai, G. y Baxendale, C. (2006): *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica*. Buenos Aires.
- Ceja, C. (2004): La política social mexicana de cara a la pobreza. *Scripta Nova*, VIII (176), <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-176.htm>
- Cleveland, W. y Devlin, S. (1988): Locally weighted robust regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American Statistical Association*, 83: 596-610.
- Cuervo (2004): Estudios de convergencia y divergencia regional en América Latina: balance y perspectivas. *Investigaciones Regionales*, 5: 29-66.
- De Santis, M. y Herrero, V. (2006): Equidad en el acceso, desigualdad y utilización de los servicios de salud. Una aplicación al caso argentino en 2001. *XLI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política*. Salta, pp. 1-23
- European Communities (2005): *Measuring progress towards a more sustainable Europe. Sustainable development indicators for the European Union*. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg.
- Figueroa Arcila, V. y Herrero Prieto, L. (2003): Análisis de la convergencia económica a través de indicadores sintéticos de desarrollo: aplicación al caso de Chile. *Investigaciones Regionales*, 3: 41-63.
- García Gómez, P. y López, N. (2004): *The evolution of inequity in the access to health care in Spain: 1987-2001*. Documento de Trabajo N° 756, Departamento de Economía Universidad Pompeu Fabra.
- Gravelle, H., Morris, S. y Sutton, M. (2006): Economic studies of equity in the consumption of health care. En Jones A.M. (ed.) *Elgar Companion to Health Economics*, pp. 194-204.
- Haldenwang, C. (2001): *La política territorial de desarrollo productivo en Chile. Nuevas instituciones regionales y locales*. Instituto Alemán de Desarrollo. Bonn.
- Maluf, R. (1998): Diversidad, desigualdades y la cuestión alimentaria. *Scripta Nova*, 25. <http://www.ub.es/geocrit/sn-25.htm>
- MIDEPLAN (2001): *Pobreza, desigualdad y convergencia regional: Un análisis para el período 1990-1998*. Unidad de Estudios Prospectivos. Santiago de Chile.
- MIDEPLAN (2007): *Serie 1: pobreza en Chile 2006*. Unidad de Estudios Prospectivos. Santiago de Chile.

Moreno Jiménez, A. et al. (2003): *La distribución de la renta en la Comunidad de Madrid. Análisis y aplicaciones*. Madrid, Instituto de Estadística. Comunidad de Madrid.

<http://www.madrid.org/iestadis/gazeta/publicaciones/iesparentano.htm>

Moreno Jiménez, A. y Vinuesa Angulo, J. (2006): *Análisis de la situación y la evolución del reequilibrio territorial en la ciudad de Madrid*. Madrid, Ayuntamiento de Madrid, Área de Economía y Participación Ciudadana, 563 pp. (policopiado).

Moreno Jiménez, A. y Vinuesa Angulo, J. (2007): *Síntesis de la situación de los equilibrios territoriales en la ciudad de Madrid*. Madrid, Ayuntamiento de Madrid, Área de Economía y Participación Ciudadana, 126 pp. (policopiado).

Negrete, J. et al. (2003): Territorios especiales. *Revista Geográfica de Valparaíso*, 34: 23-50.

Sen, A. (1973): *On economic inequality*. Delhi, Oxford University Press, 4ª reimpr. 1985.

Wheeler, S. (2004): *Planning for sustainability creating livable, equitable, and ecological communities*. Routledge. New York.

Galacho Jiménez, Federico Benjamín y Arrebola Castaño, Juan Antonio (2008): Aplicación del modelo de evaluación de la capacidad de acogida para la valoración de la aptitud física del territorio respecto a sectores de planeamiento urbanístico. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 43-55. ISBN: 978-84-96971-53-0.

APLICACIÓN DEL MODELO DE EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ACOGIDA PARA LA VALORACIÓN DE LA APTITUD FÍSICA DEL TERRITORIO RESPECTO A SECTORES DE PLANEAMIENTO URBANÍSTICO

Galacho Jiménez, Federico Benjamín¹ y Arrebola Castaño, Juan Antonio²

(1) Departamento de Geografía, Universidad de Málaga; Campus de Teatinos, s/n, 29071, Málaga; fbgalacho@uma.es

(2) Departamento de Geografía, Universidad de Málaga; Campus de Teatinos, s/n, 29071, Málaga; juan.arrebola@uma.es

RESUMEN

Los procesos de ocupación urbana del territorio se configuran a través de sectores de planeamiento. En los documentos de planeamiento urbanístico se viene realizando un establecimiento, previo y arbitrario, de los mismos en el territorio con importantes consecuencias ambientales y riesgos derivados. En esta comunicación se hace una propuesta metodológica para el tratamiento de las variables comúnmente utilizadas en el cálculo de las aptitudes físicas para la construcción. Criterio de gran relevancia que interviene en los procesos de evaluación de la capacidad de acogida del territorio respecto a la implantación de usos y actividades normalmente propuestos en sectores de planeamiento. Se expone la definición y diseño del proceso de evaluación de acuerdo a estos posibles usos. De este modo, se abordan los pasos metodológicos que parten de la preparación de la información y del establecimiento del procedimiento de evaluación. En este punto se enmarcan los procesos de selección de criterios y factores relevantes para el objetivo de la evaluación y el establecimiento de reglas de decisión/juicios de valor, es decir, qué características del territorio son las que diferencian las alternativas en función de cada criterio, y en qué medida inciden en la valoración.

Palabras Clave: capacidad de acogida, sistemas de información geográfica, técnicas de evaluación multicriterio, planeamiento urbanístico.

ABSTRACT

The process of territorial urban occupation is carried out through the sectors of the urban plan. The urban plan files are made up of a previous and free will establishment of this process with important environmental consequences and derived risks. This report is a methodological proposal for the treatment of variables commonly used in calculating the physical abilities to build. Criterion of great importance involved in the process of evaluating the capacity of the territory concerning the implementation of uses and activities normally proposed in areas of planning. The definition and design of the evaluation process are explained according to these possible uses. In this way, the methodological steps that start in the preparation of the information and the establishment of the proceeding evaluation. At this point, the process of selection of criteria are explained and the important factors to get the objective of the evaluation and the establishment of rules of decision and opinions, in short, what characteristics of the territory differentiate the alternatives according to each criteria and in what way influence in the valuation.

Key Words: reception capacity, geographic information system, multicriteria decision analysis, urban planning.

1. INTRODUCCIÓN

Las propuestas de localización e implantación de usos que se realizan desde los documentos de planeamiento urbanístico mediante los sectores de planeamiento conllevan a una posterior ocupación de los espacios sin la consideración de aspectos básicos como el impacto ambiental sobre el territorio o los riesgos derivados para la edificación que puede generarse.

En esta comunicación se va a proceder a aplicar instrumentos y técnicas muy conocidas como son los SIG y la Evaluación Multicriterio, para valorar la aptitud física de los terrenos respecto a la implantación de los usos urbanos. Mediante estas herramientas y siguiendo el proceso metodológico propuesto podremos llegar al objetivo planteado cuya finalidad última es una implantación del proceso urbano adecuada a parámetros racionales de ordenación territorial. Con dichas herramientas y utilizando los procedimientos contemplados en el modelo de evaluación de la capacidad de acogida del territorio, esperamos facilitar la toma de decisiones respecto a la ubicación más adecuada de las edificaciones sobre los distintos espacios.

La tecnología SIG se emplea como instrumento con el que se procesan y gestionan los datos geográficos, buscando la solución a los problemas que el espacio plantea. Los datos e información utilizada tienen una validez temporal limitada, es por ello necesario tener actualizado el proceso a fin de que las soluciones aportadas tengan validez en todo momento y no se adscriban a un momento puntual, respondiendo a un proceso abierto de innovación y mantenimiento continuo. En el momento que el proceso deja de responder a un momento determinado, y pasa a ser continuo, se puede considerar entonces que se ha avanzado hacia un sistema de información territorial.

Respecto a las técnicas de evaluación multicriterio, basta decir que como afirma Voogd (1983) tienen como *fin básico... investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto*. La EMC permite dar una solución a problemas de decisión sobre localización de usos o actividades, acerca de su localización óptima y sostenible (en los aspectos económico, social y ambiental), ya que bajo un conjunto de criterios variados van a existir diferentes alternativas, y sobre todas ellas, la EMC va a facilitar la decisión a tomar.

Combinadamente con estas técnicas se aplica el modelo de capacidad de acogida. El concepto hace referencia al uso óptimo del territorio en orden a su sostenibilidad, si bien, dentro del concepto teórico, se pueden diferenciar dos partes, una que analiza la aptitud y la otra que analiza el impacto, en este texto se va a tratar la primera. Gómez Orea (1992) define la capacidad acogida del territorio como *el grado de idoneidad o cabida que presenta el territorio para una actividad teniendo en cuenta a la vez, la medida en que el medio cubre sus requisitos locacionales y los efectos de dicha actividad sobre el medio; en este sentido, entenderemos que los usos urbanos evaluados obtendrán su localización óptima cuando sean asignados en un lugar que los pueda recibir sin que se degraden gravemente sus características ambientales, de tal manera que su integración en el medio y en el paisaje cuente con la mayor aptitud y el menor impacto posibles*.

2. ZONA DE ESTUDIO

El ámbito de estudio se circunscribe al municipio de Algarrobo, situado en la costa oriental de la provincia de Málaga. Exponente de un modelo de ocupación territorial en el que conviven una agricultura intensiva de alta rentabilidad y unos procesos urbanos de enorme dinamismo y voracidad espacial.

La zona de estudio se encuentra inmersa en un proceso de importante cambio de usos, sobre todo en lo que a la ocupación del espacio se refiere. Se ven implicados el paisaje, las relaciones sociales y la economía de la zona, bajo un modelo de ordenamiento propuesto que está netamente orientado hacia el crecimiento urbano, que supera los estándares de sostenibilidad, con aumentos exponenciales de las edificaciones y de la población, no teniendo en cuenta la realidad ambiental de su marco territorial, la Axarquía malagueña. Se puede constatar la pérdida de la identidad cultural y paisajística de las cuales era poseedora hace pocas décadas, fruto todo ello de un planeamiento urbanístico ineficaz desde la perspectiva territorial.

El suelo que no se inscribe a los núcleos urbanos originales o primigenios ya consolidados, cuya función ha sido la de sustentar y apoyar las economías familiares gracias a los rendimientos agrícolas que de él se podían obtener, o de ser el soporte, del no menos importante, uso natural, es ahora un producto de consumo, puesto a disposición de procesos de especulación y de tensiones territoriales, siempre a favor de la imposición del uso urbano, en los que el planeamiento urbanístico se convierte en una figura flexible y fácilmente adaptable a los criterios y premisas que marca el modelo económico común a otras zonas litorales mediterráneas.

Algarrobo, inserto en el modelo urbanístico de los municipios litorales de la Axarquía, se caracteriza por una dinámica urbanística de crecimiento elevado y competencia de usos. Aunque es claramente constatable la diferencia, ya sea por su tipología constructiva o por su forma de poblamiento, de la zona que ocupa estrictamente la franja costera respecto al resto del término municipal.

3. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

En esta comunicación se va a realizar la parte del proceso de evaluación de la capacidad de acogida, concerniente a los factores y posteriores criterios directamente relacionados con la aptitud física del territorio para unos determinados usos, fundamentalmente urbanísticos. Por tanto, se persigue ofrecer un mapa final de zonificación de las distintas zonas del área de estudio, de acuerdo a la aptitud óptima para la construcción según la perspectiva expuesta y al mismo tiempo, respecto a éste, ofrecer una valoración de los distintos sectores de planeamiento municipal propuestos en su Plan General de Ordenación Urbana.

Así pues, dentro de los denominados criterios de aptitud, se han considerado las condiciones constructivas de los terrenos, es lo que hemos denominado la aptitud física para la construcción. Con ello se pretende valorar las características del terreno en función de su idoneidad para la edificación y los condicionantes técnicos de las construcciones. Se valoran como criterios de aptitud física para la construcción: la pendiente, la litología y la estabilidad de pendientes y taludes.

Esta parte del proceso se inserta en uno mayor que tiene como fin desarrollar un sistema de ayuda a la decisión espacial para la gestión sostenible del territorio en escalas locales y/o municipales, estableciendo de forma clara los límites y procesos de gestión de la información, con el fin de evitar problemas de calidad en los resultados que se vayan obteniendo.

3.1. Definición de los factores que intervienen en el proceso de determinación de la aptitud física del terreno para la construcción.

El objeto es conseguir una capa de información en la que el municipio de Algarrobo sea categorizado y zonificado en función del grado de aptitud física para acoger usos urbanos, pudiendo hacer una valoración ambiental de los sectores destinados a tales usos, como así está plasmado en los vigentes documentos de planeamiento.

3.1.1. Capa de Pendientes

Tomada únicamente como factor de aptitud, se valora la idoneidad o no, dada las dificultades y el riesgo que pueden darse en función de la pendiente, para el establecimiento de usos y actividades urbanísticas. Para ello se ha revisado y adecuado, la clasificación de Marsh (1978). Dicha clasificación no valora la imposibilidad o elevada dificultad de construir en determinados lugares de pendiente elevada, ya que hoy en día existen los mecanismos y herramientas, y en definitiva, técnicas de construcción, que permiten solventar con facilidad, las limitaciones para la construcción que antaño podía ocasionar una pendiente elevada.

La fuente de los datos es el Modelo Digital del Terreno (MDT) de la Comunidad Autónoma de Andalucía, generado a partir del vuelo fotogramétrico b/n 1:20000 del año 2001-2002 y georreferenciado según la proyección UTM en Huso 30 correspondiente al sistema de referencia ED-50.

Tabla 1. Intervalos de pendientes

CÓDIGO	PENDIENTE (%)	TIPOLOGÍA
1	< 5	Zonas llanas
2	5 – 15	Pendiente suave
3	15 – 25	Pendiente moderada
4	25 – 35	Pendiente fuerte
5	> 35	Pendiente muy fuerte

Las zonas con pendientes inferiores al 5%, que se corresponden con las zonas llanas, pueden ser calificadas como aptas para la gran mayoría de usos urbanos, siendo las dificultades que se pueden presentar mínimas y fácilmente superables. Si la pendiente en otras zonas es más elevada, correspondiéndose con las pendientes suaves y moderadas, que van desde el 5% al 25%, las dificultades aumentan de forma progresiva, siendo las actuaciones a realizar para su adecuación mayores, aumentando el coste económico y los riesgos que en ellas se pueden producir. Por último, se considera que los terrenos con pendientes superiores al 25%, de pendiente fuerte o muy fuerte, aún siendo técnicamente viable su ocupación por usos urbanos, no son terrenos recomendables para la urbanización, sobre todo, cuanto mayor sea la pendiente, dado el impacto ambiental y los riesgos derivados que se pudieran producir con las actuaciones requeridas en los procesos de implantación urbana. Es sabido que impactos como la pérdida de cobertura vegetal y posterior inicio de mecanismos de erosión y pérdida de suelo, en los que se incluye conjuntamente los riesgos de movimientos gravitacionales, son comunes en este tipo de actuaciones sobre pendientes pronunciadas.

3.1.2. Capa de sustrato litológico

Cada uno de los tipos litológicos que se encuentran en el término municipal ha sido valorado en función de la característica de la capacidad portante, entendida ésta como la capacidad que una determinada litología tiene para soportar un uso determinado, como puede ser una infraestructura o una vivienda.

Se ha usado el mapa geológico del IGME a escala 1:50000. Ante el elevado número de clases litológicas que dificultan enormemente la asignación de pesos a realizar posteriormente, se ha optado por agrupar los tipos litológicos en función de su comportamiento similar respecto a la actividad constructiva, con lo que se disminuye el número de clases y así se tiene un factor más manejable. No es posible entrar a explicar detenidamente la agrupación litológica realizada por cuestiones obvias de espacio. No obstante, si es preciso mencionar que para la valoración de la capacidad portante de los tipos litológicos se ha consultado la siguiente bibliografía, Dunne y Leopold (1978), sobre los materiales litológicos y su naturaleza, como factores de estabilidad, también Way (1973), habla sobre distintos tipos litológicos que en distintas condiciones, situaciones o asociaciones pueden derivar en una mayor susceptibilidad a procesos diversos.

Tabla 2. Tipos de litologías y capacidad portante

CÓDIGO	TIPO	CAPACIDAD PORTANTE
1	Llanuras de inundación	Media
1	Arenas pobremente equilibradas	Media
1	Arenas limosas o Arenas arcillosas	Media
2	Depósitos fluviales	Nula
3	Esquistos	Baja

3.1.3. Capa de estabilidad de pendientes

A partir de las pendientes y de los tipos litológicos se obtiene una valoración sobre la estabilidad, que pudiendo ser valorada como factor de riesgo, en este caso, se valorará como un factor de aptitud del territorio a la construcción, en función de la tendencia de los materiales con una pendiente determinada a permanecer inmóviles.

El mayor grado de estabilidad de pendientes que puede tener un área concreta en base a su capacidad para sostener los usos establecidos en los sectores del planeamiento municipal, se da a partir de la conjugación de dos criterios como son, la menor pendiente posible sobre un sustrato litológico con una resistencia continua elevada. En función de los cambios que se den en cada uno de los criterios comentados, la estabilidad también lo hará, disminuyendo ésta a favor del aumento de la inestabilidad, y en contra de una aptitud idónea del territorio, para la implantación de los usos sectorizados.

Tabla 3. Clasificación de la estabilidad

CÓDIGO	ESTABILIDAD
1	Muy Alta
2	Alta
3	Moderada-Alta
4	Moderada-Baja
5	Baja
6	Muy Baja

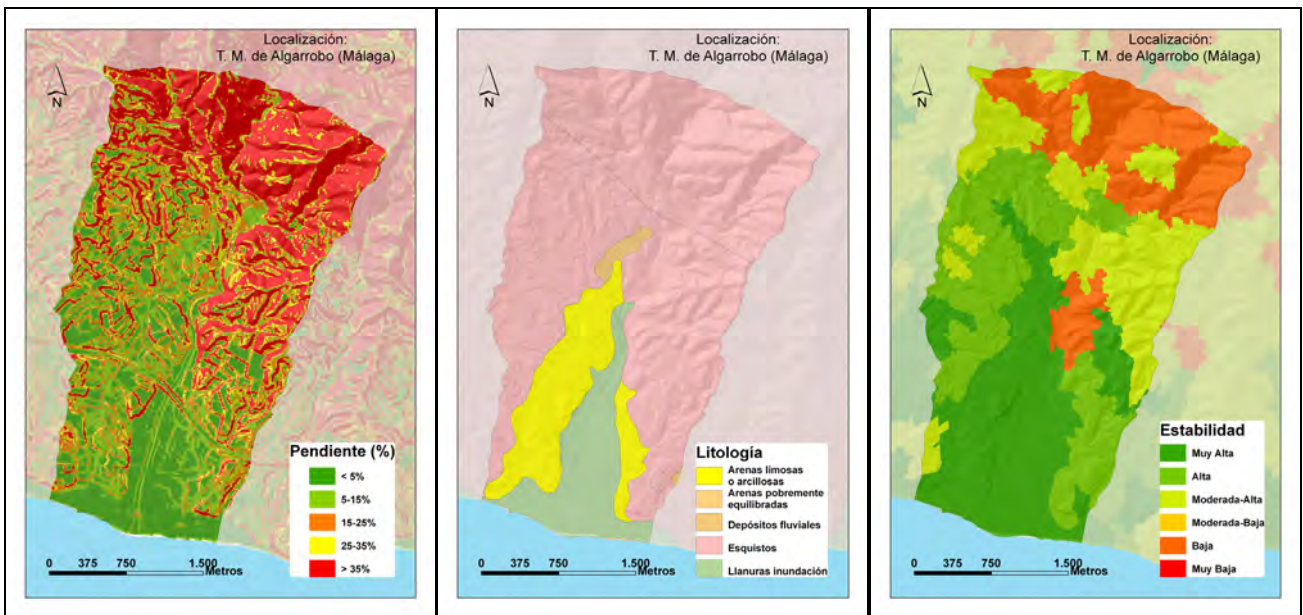


Figura 1. (De izquierda a derecha). Mapa de pendientes, mapa litológico y mapa de estabilidad de pendientes.

3.2. Asignación de valores numéricos y pesos

Los atributos temáticos de los factores que dan lugar a los criterios cuando se les ha asignado pesos, presentan distintas escalas de medida, pero para la posterior aplicación de las reglas de decisión a través de las cuales se obtiene una evaluación particular, y desde el punto de vista operativo y de tratamiento de los datos, será necesario operar con los valores de los diferentes criterios. Por consiguiente, hay que resolver dos cuestiones: una que todos los atributos, cuantitativos o no, estén expresados en valores numéricos y dos la adopción de un sistema de normalización de los valores de los criterios.

Para la normalización de vectores como la capa de estabilidad de pendientes se ha optado por uno de los sistemas más simples, Voogd (1983), la división de cada valor por el valor máximo. Esta normalización da como resultado valores de 0 a 1, con la ventaja de que no efectúa una transformación de la variable, por lo que la proporcionalidad se mantiene. Además, se agradece su utilización cuando el proceso es complejo y nos vemos forzados a volver sobre las puntuaciones y los valores en determinados momentos del proceso de evaluación.

Para la ponderación de los factores de pendientes y litología se ha utilizado el método de comparación por pares de Saaty (1980). Con este procedimiento se establece una matriz cuadrada en cuyas filas y columnas está definido el número de atributos de las variables (clases) a ponderar. El resultado es una matriz de comparación entre pares de clases, en la que se observa la importancia de cada una de ellas sobre cada una de los demás (a_{ij}), posteriormente se determina el eigenvector principal, que representa el orden de prioridad de los factores y establece los pesos (w_{ij}), proporcionando una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre

pares de factores Saaty (1980). El eigenvector principal conviene normalizarse para así obtener el vector de prioridades. El procedimiento usado en esta aplicación, sigue lo expuesto por Barredo (1996) y consiste, en obtener primero los valores de la matriz de comparación normalizados por columnas, del siguiente modo, $Na_{1j} = a_{1j} / \sum a_{1j}$, así el valor normalizado para cada celda se obtiene a partir del cociente entre cada valor (a_{ij}) y el valor de la sumatoria de cada columna. Posteriormente, los valores normalizados se suman por filas, obteniendo así el eigenvector principal, el cual se normaliza dividiendo cada uno de los valores de dicho vector entre n (número de factores), resultando de esta manera el eigenvector principal normalizado que representa los pesos (w_j) de cada factor.

Tabla 4. Método de jerarquías analíticas para asignación de valor o pesos

FACTORES	MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES				EIGENVECTOR PRINCIPAL
	A	B	C	D	
A	a_{AA}	a_{AB}	a_{AC}	a_{AD}	e_A
B	a_{BA}	a_{BB}	a_{BC}	a_{BD}	e_B
C	a_{CA}	a_{CB}	a_{CC}	a_{CD}	e_C
D	a_{DA}	a_{DB}	a_{DC}	a_{DD}	e_D

La escala de medida establecida para la asignación de los juicios de valor (a_{ij}) es una escala de tipo continuo (ratios o razón) que va desde un valor mínimo de 1/9 hasta 9, definida por Saaty (1980), entendiéndose como extremadamente menos importante (1/9) hasta extremadamente más importante (9), indicando el valor 1 de igualdad en la importancia entre pares de factores, como se puede observar en Barredo (1996).

Tabla 5. Escala de medida para la asignación de los juicios de valor (a_{ij}).
(Asignación de importancia a cada par de factores)

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
EXTREMA BAJA	MUY BAJA	BAJA	MEDIA BAJA	IGUAL	MEDIA ALTA	ALTA	MUY ALTA	EXTREMA ALTA

Se ha realizado la matriz de comparación por pares, como explica Saaty (1980) con su posterior normalización en base a Voogd (1983) y el cálculo del eigenvector principal y normalizado, Barredo (1996), para los valores de los criterios, pendiente y litología.

Para demostrar que la consistencia en la asignación de juicios de valor es correcta, dado que la subjetividad, por mínima que sea, a la hora de atribuir dichos juicios siempre está presente. Se realiza un procedimiento que averigua el eigenvalor máximo (λ_{max}), que en el caso de no ser considerado consistente, permite retomar de nuevo la asignación de valores antes atribuida, como se desarrolla en Barredo (2005).¹

¹ $c.r. = \frac{c.i.}{r.i.}$ El valor que ofrece este procedimiento para el cálculo de la consistencia es la razón de consistencia (consistency ratio, c.r.), dicho valor se establece a partir del cociente entre el valor del índice de consistencia (consistency index, c.i.) y el índice aleatorio (random index, r.i.). $c.r.=c.i./r.i.$

c.i. es un valor obtenido a partir del eigenvalor máximo (λ_{max}),
$$c.i. = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

r.i. representa un valor establecido para los casos de matrices con un determinado orden.

Tabla 6. Matriz para establecer la valoración de la aptitud de las clases del criterio pendiente. (c.r. = 0,01; c.i. = 0,0125; r.i. = 1,12)

CÓDIGO FACTOR	1 (<5%)	2 (5-15%)	3 (15-25%)	4 (25-35%)	5 (>35%)
1 (<5%)	1	2	4	6	8
2 (5-15%)	1/2	1	2	4	6
3 (15-25%)	1/4	1/2	1	2	4
4 (25-35%)	1/6	1/4	1/2	1	2
5 (>35%)	1/8	1/6	1/4	1/2	1

Tabla 7. Normalización de los valores de la tabla nº 6 (pendientes), eigenvector principal (EP) y normalizado (EPN).

CÓDIGO FACTOR	1 (<5%)	2 (5-15%)	3 (15-25%)	4 (25-35%)	5 (>35%)	EP	EPN
1 (<5%)	0,49	0,51	0,52	0,44	0,38	2,34	0,47
2 (5-15%)	0,24	0,26	0,26	0,30	0,29	1,34	0,27
3 (15-25%)	0,12	0,13	0,13	0,15	0,19	0,72	0,14
4 (25-35%)	0,08	0,06	0,06	0,07	0,10	0,38	0,08
5 (>35%)	0,06	0,04	0,03	0,04	0,05	0,22	0,04

Tabla 8. Matriz para establecer la valoración de la aptitud de las clases del criterio litología. (c.r. = 0,05; c.i. = 0,0271; r.i. = 0,58)

CÓDIGO FACTOR	1 (Llanuras, Arenas...)	2 (Depósitos fluviales)	3 (Esquistos)
1 (Llanuras, Arenas...)	1	4	8
2 (Depósitos fluviales)	1/4	1	4
3 (Esquistos)	1/8	1/4	1

Tabla 9. Normalización de los valores de la tabla nº 8 (litología), eigenvector principal y normalizado.

CÓDIGO FACTOR	1 (Llanuras, Arenas...)	2 (Depósitos fluviales)	3 (Esquistos)	EP	EPN
1 (Llanuras, Arenas...)	0,73	0,76	0,62	2,10	0,70
2 (Depósitos fluviales)	0,18	0,19	0,31	0,68	0,23
3 (Esquistos)	0,09	0,05	0,08	0,22	0,07

Para la estabilidad, dadas sus especiales características, no se ha procedido como con los criterios anteriores, si no que se ha realizado una ponderación lineal con normalización (0 a 1), quedando como se observa en la tabla nº 10.

Tabla 10. Matriz para establecer la valoración de la aptitud de las clases del criterio estabilidad.

CÓDIGO FACTOR	ESTABILIDAD	PONDERACIÓN
1	Muy Baja	1,00
2	Baja	0,83
3	Moderada Baja	0,67
4	Moderada Alta	0,50
5	Alta	0,33
6	Muy Alta	0,17

3.3. Reglas de Decisión

Como se sabe, una regla de decisión, en la lógica del proceso de evaluación, se formaliza mediante una serie de procedimientos aritméticos-estadísticos que posibilita la integración de los criterios establecidos en un índice de simple composición, proveyendo la manera de comparar las alternativas utilizando dicho índice, Eastman et al. (1993). Tales reglas se refieren a aspectos concretos como la medida de los atributos para dar valor a los criterios, o a la forma de integrar los criterios en la evaluación de las alternativas.

Existen dos tipos principales de procedimientos de evaluación multicriterio, desde el punto de vista operativo y de tratamiento de los datos: las técnicas no compensatorias y las técnicas compensatorias, que define Janowski, (1995). Las técnicas no compensatorias demandan una jerarquización ordinal de los criterios basada en las prioridades de la evaluación, por tanto mediante la indicación de un valor ordinal o bien el orden de importancia de los criterios, sin establecer un peso de manera cuantitativa. Mientras que las técnicas compensatorias, que precisamente son las que se van a utilizar para el objeto que nos ocupa, requieren que se especifiquen los pesos de los criterios como valores cardinales o funciones de prioridad, de manera numérica en escala de razón.

Dentro de los procedimientos compensatorios, se nos abre la posibilidad de utilizar dos tipos de métodos, como métodos de cálculo para derivar la ordenación lineal de las alternativas a partir de las puntuaciones que se le han adjudicado a los diferentes criterios: los aditivos (sumatoria lineal ponderada) y los de punto ideal. Ambos sirven en esencia para derivar una puntuación única a partir de las ofrecidas en un número determinado de criterios. Aunque en el espacio de trabajo definido para este texto, no se desarrolla la sumatoria lineal ponderada², ya que esta es más común de ser utilizada para el criterio impacto, cabe destacar que es un método simple e intuitivo que permite la agregación de los criterios, adjudicándoles un peso de acuerdo a su importancia. Esta adjudicación de pesos, como forma de ponderar su importancia respectiva, es un aspecto clave en el proceso, y responde lógicamente a un juicio técnico. Es una aceptación absoluta de la compensación entre los criterios, en la que el juicio técnico introduce la proporción en que, según su estimación, el valor de un criterio puede compensar el valor de otro. Si se entiende que el criterio es una parte delimitada del juicio, la agregación se intuye como un procedimiento acorde con el modelo.

La opción de la distancia al punto ideal³ utilizada en nuestro caso para el establecimiento del valor del criterio de aptitud, conlleva que el proceso utilice las puntuaciones de las alternativas para medir su similitud con una situación óptima, teórica, que lógicamente estará definida por las mejores puntuaciones posibles en cada criterio. Es una forma de ordenar linealmente las alternativas, también sencilla y clara, en la que lógicamente hay compensación entre los criterios, pero midiendo la desviación de las puntuaciones de las alternativas en cada criterio respecto al valor óptimo, y no directamente las propias puntuaciones.

Al calcular este último método compensatorio obtenemos tras aplicar la fórmula, $\sqrt{(1-\text{criterio pendiente})^2 + (1-\text{criterio litología})^2 + (1-\text{criterio estabilidad de pendientes})^2}$, unos resultados que arrojan alternativas que oscilan entre un valor máximo teórico de 1,436 y un valor mínimo teórico de 0,28.

$r_i = \sum_{j=1}^n w_j v_{ij}$ donde r_i es el nivel de adecuación de la alternativa i . w_j es el peso del criterio j y v_{ij} es el valor ponderado de la alternativa i en el criterio j . La obtención del nivel de adecuación de cada alternativa se halla sumando el resultado el multiplicar el valor de criterio por su peso.

³ Se basa en el cálculo de los desvíos de cada alternativa con un punto ideal que se debe considerar inalcanzable; posteriormente es comparada la distancia entre cada alternativa y el ideal es un espacio multivariado, donde cada criterio representa un eje (Gómez y Barredo, 2005, 90-96). Dado el planteamiento del Análisis del Punto Ideal, el cálculo de la distancia entre cada alternativa y el punto ideal representa un paso importante para los resultados finales. Análisis Punto Ideal (inverso) Criterio Aptitud = $\sqrt{(1-\text{criterio a})^2 + (1-\text{criterio b})^2 + (1-\text{criterio n})^2}$

4. RESULTADOS

Una vez realizado el proceso de análisis, la información aparece ahora expresada en función del significado que el medio de estudio ostenta para el objeto considerado, la valoración de los sectores de planeamiento en orden a su aptitud física. No obstante, deberá realizarse una normalización, ordenación y agrupación de los resultados, trabajando con una capa de información con las respectivas puntuaciones para cada una de las áreas que conforman el municipio de Algarrobo y el grupo en el que es clasificada cada una de ellas. Así, con la información resultante se procede a la generación de alternativas, observando cuan óptimo es un sector de planeamiento en función del criterio aptitud física para las condiciones constructivas.

Esta operación puede resultar laboriosa y es conveniente proceder por aproximaciones sucesivas, entendiéndose cada actividad mediante criterios que atiendan al concepto de compatibilidad territorial, y como se sugiere en MMA (2000) realizar la toma de decisiones según los siguientes pasos:

Áreas en que sólo una de las actividades que se excluyen geográficamente aparece en dos clases superiores. El territorio queda dividido en: áreas a las que se le atribuye ya un uso óptimo (sólo una actividad posible a nivel alto), áreas conflictivas (con más de una actividad posible a nivel alto), áreas en que ninguna actividad posible alcanza nivel alto.

Relación de orden entre las actividades que se excluyen geográficamente. Se establecen diversas alternativas según relaciones de orden diferentes.

Solución de los conflictos mediante el orden establecido (en las alternativas). Atribución de la actividad que preceda a las demás en el orden de la permutación.

Medición de las superficies resultantes atribuidas a los distintos usos o tipologías de cada uso y toma de decisión de si la distribución es admisible en el contexto general; o si no lo es, realizar las modificaciones pertinentes en la dirección precisa la relación establecida.

En resumen, el esquema anteriormente desarrollado conduce a distintas posibilidades, entre ellas por ejemplo es el caso de la figura nº 2, en la que se representa gráficamente el nivel de aptitud que ostenta las distintas áreas del municipio, pudiendo obtener a simple vista que zonas no responden a un nivel óptimo de aptitud física para las condiciones constructivas.

La clasificación del grado de aptitud se ha establecido, tras normalizar los resultados obtenidos en base a los fundamentos de Voogd (1983), quedando los datos establecidos en los valores que van de 0 a 1, siendo más fácil su manejo. Se configuran cinco tipos o niveles de aptitud, Excelente (0 – 0,2), Alto (0,2 – 0,4), Moderado (0,4 – 0,6), Escaso (0,6 – 0,8), Sin aptitud (0,8 – 1).

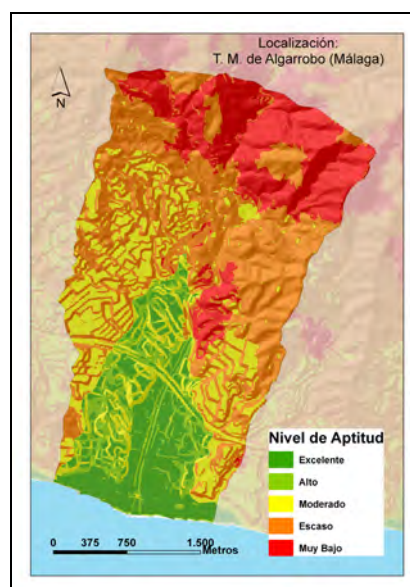


Figura 2. Mapa de aptitud física.

La lógica del modelo conduce, en un inicio a la formulación del objetivo de la valoración y obtener un mapa final como fin. Su lógica interna, en la que se avanza en la construcción de la valoración con una desagregación muy elevada de juicios parciales, le convierte en una herramienta dúctil, con la que se puede interactuar, capaz de reorientar la evaluación de acuerdo a diferentes puntos de vista. En este sentido, el resultado de la evaluación es válido en función de los juicios y las valoraciones emitidas, teniendo cabida por tanto experimentar sobre resultados alternativos, rectificar los juicios, considerar o no determinadas variables o criterios, etc.

Dado que el objetivo del texto era llegar a una valoración de los distintos sectores de planeamiento municipal propuestos, se ha procedido a describir la aptitud física en cada una de los sectores establecidos, concluyendo la extensión (en porcentaje) que ocupa cada uno de los grados o niveles de aptitud física para las condiciones constructivas, como se observa en las tablas 11 y 12.

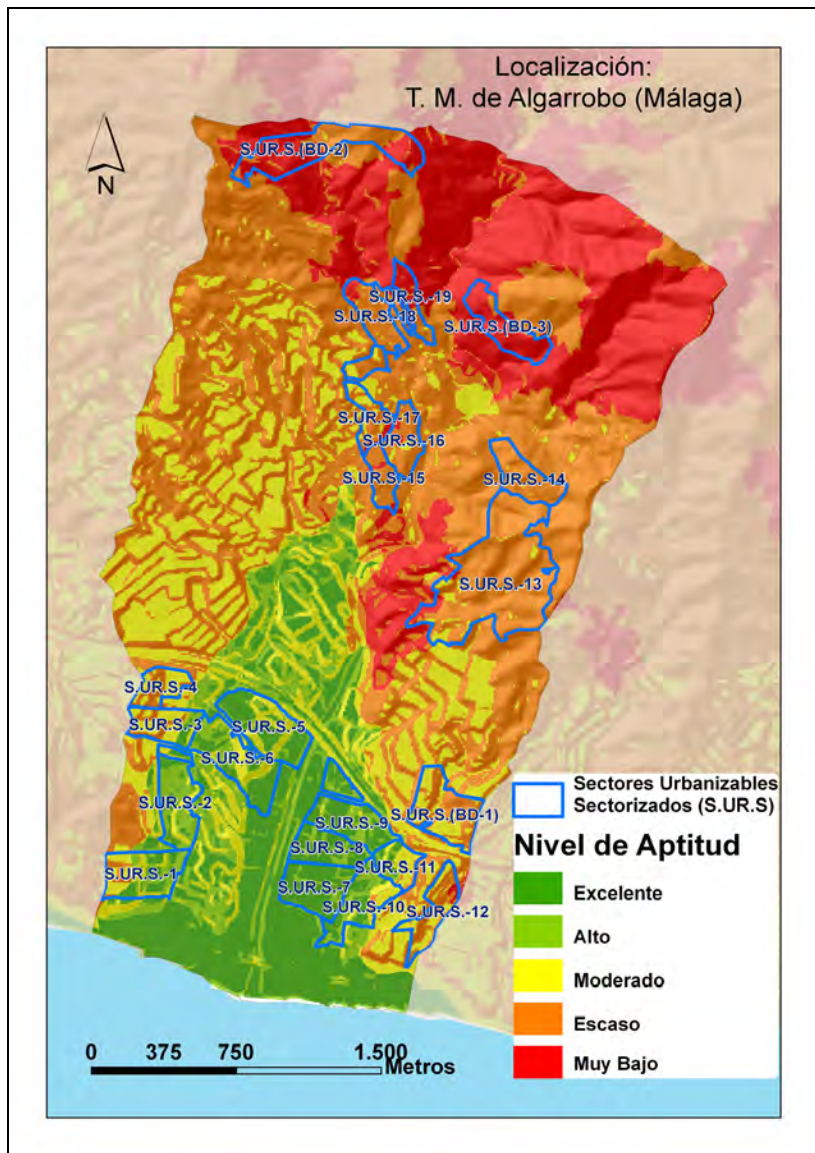


Figura 3. Mapa de aptitud física para la construcción y sectores de planeamiento propuestos en el planeamiento urbanístico.

Tabla 11. Porcentaje de suelo de cada nivel de aptitud en los sectores de planeamiento.

SECTORES	EXCELENTE	ALTO	MODERADO	ESCASO	MUY BAJO
S.UR.S.(BD-1)	-	-	40,3	59,7	-
S.UR.S.(BD-2)	-	-	0,5	42,0	57,4
S.UR.S.(BD-3)	-	-	-	7,3	92,7
S.UR.S.-1	25,0	28,3	36,8	10,0	-
S.UR.S.-2	19,1	63,9	16,8	0,1	-
S.UR.S.-3	12,4	11,5	51,8	24,3	-
S.UR.S.-4	-	-	55,3	44,7	-
S.UR.S.-5	50,1	20,9	29,0	-	-
S.UR.S.-6	41,5	32,3	26,1	-	-
S.UR.S.-7	82,2	17,8	-	-	-
S.UR.S.-8	72,9	26,8	0,3	-	-
S.UR.S.-9	58,3	39,5	2,1	-	-
S.UR.S.-10	37,1	34,9	23,6	4,3	-
S.UR.S.-11	18,4	23,5	45,5	12,7	-
S.UR.S.-12	-	-	38,4	56,9	4,7
S.UR.S.-13	-	-	5,6	90,9	3,5
S.UR.S.-14	-	-	0,9	99,1	-
S.UR.S.-15	-	-	2,2	90,0	7,8
S.UR.S.-16	-	-	8,1	87,6	4,2
S.UR.S.-17	-	-	28,6	65,0	6,4
S.UR.S.-18	-	-	0,9	86,7	12,4
S.UR.S.-19	-	-	1,2	52,5	46,3

También, se ha podido clasificar los sectores de planeamiento en función de aquel grado o nivel de aptitud que sea predominante (en más de un 50% de la extensión que ocupa), o, en su defecto, si esta condición no se diera, de aquellos niveles de aptitud más significativos y que en su conjunto, superen más del 50% de la extensión del sector analizado.

Tabla 12. Nivel de aptitud dominante en los sectores urbanizables sectorizados definidos en el PGOU de Algarrobo.

SECTORES	APTITUD DOMINANTE	SECTORES	APTITUD DOMINANTE
S.UR.S.(BD-1)	Escaso	S.UR.S.-9	Excelente
S.UR.S.(BD-2)	Sin Aptitud	S.UR.S.-10	Excelente/Alto
S.UR.S.(BD-3)	Sin Aptitud	S.UR.S.-11	Moderado/Alto
S.UR.S.-1	Moderado/Alto	S.UR.S.-12	Escaso
S.UR.S.-2	Alto	S.UR.S.-13	Escaso
S.UR.S.-3	Moderado	S.UR.S.-14	Escaso
S.UR.S.-4	Moderado	S.UR.S.-15	Escaso
S.UR.S.-5	Excelente	S.UR.S.-16	Escaso
S.UR.S.-6	Excelente/Alto	S.UR.S.-17	Escaso
S.UR.S.-7	Excelente	S.UR.S.-18	Escaso
S.UR.S.-8	Excelente	S.UR.S.-19	Escaso

5. CONCLUSIONES

Lo expuesto hasta aquí, ha tenido como objetivo el presentar las consideraciones sobre algunas de las técnicas de análisis y tratamiento de la información, mediante procesos de decisión con los que se ha llegado a elaborar una información cartográfica en forma de mapas de aptitud física para la acogida por parte del territorio de usos constructivos en aquellos sectores definidos como urbanos en los documentos de planeamiento urbanístico municipal.

En el uso de las técnicas de evaluación multicriterio, el investigador interviene de acuerdo a unas innegables consideraciones propias. Se entiende que los juicios de valor y el manejo de la información en SIG se realizan de la manera lo más objetiva posible. Cabe pensar que en decisiones complejas, como la que nos ocupa en el caso de los usos urbanísticos, el investigador (decisor en última instancia) se encuentra desde el inicio del proceso en posesión del conocimiento necesario para que sus juicios sean acertados o correctos. No obstante, no deber ser descartable contar con el apoyo técnico de otros expertos en los que apoyar los juicios a fin de que sean lo más sólidos posibles.

Los modos de aplicación de estas técnicas resultan más eficientes si se plantean como procesos interactivos en la que los juicios, criterios... incluso, las alternativas, son y deben ser alterables (en cuanto a su afinamiento y mejora), siempre y cuando existan procesos de prueba y error que favorezcan la retroalimentación del esquema, no pudiendo ser los resultados ni crípticos ni cerrados. Siendo básico, una clara explicación en cada momento de los juicios, las puntuaciones o las reglas de decisión aplicadas, así como los resultados parciales.

El usuario externo, en un campo tan complejo y delicado como el planeamiento urbanístico, puede encontrar útil la evaluación realizada y puede aceptarla, o puede que ocurra todo lo contrario. Las expectativas se cubren cuando se asume el resultado aunque sea parcialmente, siendo un mal menor el querer modificar con juicios propios algún elemento de la evaluación, pero nunca hasta el punto de desvirtuarla en extremo.

La mitad de los sectores urbanísticos propuestos por el planeamiento ocupan áreas con niveles de aptitud física para las condiciones constructivas predominante poco aptos, lo que viene a sugerir lo planteado en un inicio acerca del establecimiento previo y arbitrario de los sectores en los documentos de planeamiento sin valorar la aptitud de los terrenos que ocupan lo que derivará en importantes consecuencias ambientales y riesgos que pueden derivarse de la instalación de usos y/o actividades en lugares poco adecuados. No existiendo apenas correspondencia entre los sectores de planificación reales establecidos en el planeamiento, y los sectores de planificación ideales en función de su aptitud física.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barredo, J.I. (1996): *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Ra-Ma Editorial, 1ª edición, Madrid.
- Dunne, T. y Leopold, L. (1978): *Water in Environmental Planning*. Freeman & Co. San Francisco. Citado en MMA (2000).
- Eastman, J.R., Kyem, P.A. y Toledano, J. (1993): *GIS and decision making*. United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), Ginebra.
- Galacho Jiménez, F.B. y Ocaña Ocaña, C. (2006): Tratamiento con SIG y técnicas de evaluación multicriterio de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanísticos: residenciales y comerciales. *XII coloquio de geografía cuantitativa*. Universidad de Granada, Granada, pp.: 1509-1525.
- Gómez Delgado, M. y Barredo, J.I. (2005): *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Ra-Ma Editorial, 2ª edición, Madrid.

- Gómez Orea, D. (1992): *Evaluación de Impacto Ambiental*. Editorial Agrícola Española S.A., Madrid.
- Jankowski, P. (1995): *Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods*. International Journal of Geographical Information Systems, 9 (3): 251-273.
- Malczewski, J. (1999): *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons, Nueva York.
- Marsh, W.M. (1978): *Environmental analysis for land use and site planning*. McGraw-Hill, New York.
- MMA (Ministerio de Medio Ambiente) (2000): *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Saaty, T. (1980): *The analytical hierarchy process*. McGraw Hill, Nueva York.
- Voogd, H. (1983): *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. Pion, Londres.
- Way, D.S. (1973): *Terrain analysis*. Hutchinson and Ross, Stroudsburg (Pensilvania). Citado en MMA (2000).

García Palomares, Juan Carlos; Cardozo, Osvaldo D. y Gutiérrez Puebla, Javier (2008): Sistemas de Información Geográfica como herramientas en la estimación de las entradas en las estaciones de metro en Madrid. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 56-69. ISBN: 978-84-96971-53-0.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMO HERRAMIENTAS EN LA ESTIMACIÓN DE LAS ENTRADAS EN LAS ESTACIONES DE METRO EN MADRID

García Palomares, Juan Carlos¹; Cardozo, Osvaldo D.² y Gutiérrez Puebla, Javier¹

(1) Departamento de Geografía Humana de la Universidad Complutense de Madrid, C/ Profesor Aranguren, s/n, 28040, Madrid.

jcgarcia@ghis.ucm.es, javiergutierrez@ghis.ucm.es

(2) Departamento de Geografía de la Universidad Nacional del Nordeste, Av. Las Heras, 727, 3500, Resistencia.

odcardozo@hum.unne.edu.ar

RESUMEN

Esta comunicación presenta el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la creación de un modelo de respuesta rápida a la hora de estimar las entradas en las estaciones de metro de Madrid. Habitualmente, se han usado áreas de proximidad en línea recta (buffers) o áreas de proximidad por el callejero (service area) para calcular la población en el entorno próximo de las estaciones. Esta metodología supone un enfoque de todo o nada, asumiendo como futuros usuarios a todos los residentes en el interior de las franjas y como no usuarios a los residentes fuera. En realidad existe, por un lado, una caída de la demanda con la distancia (distance decay) y, por otro, entornos más propensos al uso del metro, por sus características urbanas o sociodemográficas. Aquí se presenta el uso de herramientas SIG para conocer cómo es la caída de la demanda con la distancia, además, con los datos que proporciona el SIG es posible, mediante un análisis de regresión lineal múltiple, obtener modelos de fácil y rápida aplicación a la hora de estimar de la futura demanda de nuevas estaciones.

Palabras Clave: SIG, Planificación del transporte, estimación directa de la demanda

ABSTRACT

This work show the use of GIS tools to estimate the demand of trips in the network subway of Madrid. The objective is generate one model predict the trips (go into the network), integrating distance decay in a model of multiple linear regression. Its application shows hopeful results (treatment of the distance, fit of regression, integration models), and it considers like an option or complement to the classic models of four stages.

Key Words: GIS, transportation planning, model predict the trips.

PRESENTACIÓN: LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DEL TRANSPORTE PÚBLICO

La utilidad de los Sistemas de Información Geográfica en la planificación del transporte ha sido ampliamente reconocida por su capacidad para manejar, visualizar y analizar datos espaciales en relación a la localización de la demanda de transporte como a las propias redes (Miller, 1999; Nyerges, 1995; Miller and Shaw, 2001). Las aplicaciones han sido numerosas, desde la realización de inventarios y cartografía (de las redes, zonas de transporte, variables ambientales, etc.), los análisis de accesibilidad (en su doble perspectiva, de accesibilidad a las redes o la que estás proporcionan a los centros de actividad), la modelización de la demanda (asignación de los flujos a las redes) o la realización de estudios de impacto ambiental (tanto de análisis de alternativas como de obtención de trazados y corredores óptimos) (Gutiérrez Puebla, 2006).

Una de las aplicaciones más frecuentes en la planificación del transporte consiste en estimar la demanda de las redes. Para ello los SIG proporcionan una herramienta flexible, que permite para delimitar las áreas de cobertura y determinar cuánta población reside en cada una de ella o cuántos empleos o actividades podemos encontrar en su entorno próximo (O'Neill et al. 1992; Hsiao et al., 1997; Murray et al.; 1998; Murray, 2001; Zhao et al., 2003; Horner and Murray, 2004; Gutiérrez and García-Palomares, 2008). Los análisis de población cubierta ofrecen información útil al planificador, ya que la cantidad de población servida es un proxy de la demanda de transporte público. Sin embargo, estos trabajos no proporcionan propiamente una predicción del uso que van a tener las distintas paradas o estaciones.

Tradicionalmente, la predicción de la demanda se realiza con complejos y costosos modelos de transporte, fundamentalmente el clásico modelo de cuatro etapas. En los últimos años, con el fin de realizar estimaciones de la demanda que den un paso más allá del mero cálculo de la población cubierta, en los últimos años están apareciendo modelos que combinan el uso conjunto de SIG y análisis de regresión lineal múltiple y permiten construir modelos de estimación directa (alternativos a los costosos modelos de cuatro-etapas) con el fin de estimar la demanda de transporte a nivel de estación. Básicamente se trata de ajustar un modelo de regresión múltiple donde la variable dependiente es el número de entradas de las estaciones y las variables independientes reflejan las características de las estaciones y sus áreas de servicio, delimitadas a partir de herramientas SIG. Estos trabajos tienen su antecedente en los análisis de cobertura de las redes, pero dan un paso adelante con respecto a ellos: mientras que los análisis de cobertura se limitan a calcular la población o empleo en distintas franjas de distancia (en línea recta o a través de la red), es decir, a hacer un cálculo genérico de demanda potencial, los modelos de estimación directa basados en herramientas SIG son capaces de estimar el número de viajeros entrados en las estaciones.

La lógica de estos modelos descansa en la idea de que conociendo las características de las estaciones (tipo de estación, número de líneas, número de accesos, etc.) y de sus áreas de influencia (población, empleo, mezcla de usos del suelo, densidad de viario, etc.) se pueden hacer estimaciones rápidas y suficientemente precisas sobre la cantidad de viajeros entrados en cada estación o parada de la red (Cervero, 2006). Es necesario indagar sobre las características del área de servicio de la estación. Esto significa adoptar una perspectiva más local, analizando con detalle el entorno de paradas y estaciones. Es ahí donde los SIG demuestran su capacidad de análisis, pues permiten delimitar las áreas de servicio y analizar con detalle el entorno de las estaciones. Estos modelos pierden la perspectiva "regional" de los modelos de demanda de cuatro-etapas, pero profundizan más en el análisis local y resultan más simples, de forma que se pueden calificar como de respuesta inmediata.

Sin embargo, a pesar de las posibilidades de estos modelos, hasta la fecha son muy pocos los trabajos que utilizan SIG y análisis de regresión lineal múltiple para realizar modelos de predicción de la demanda. A la vez, los modelos propuestos presentan ciertas carencias que pueden ser superadas con nuevas formulaciones. En esta comunicación se presenta la utilidad de los SIG a la hora de realizar mejoras de carácter metodológico, no consideradas en los trabajos anteriores, y que permiten aumentar el grado de ajuste en las predicciones realizadas en estos modelos de regresión lineal múltiple para la estimación de la demanda de las redes de transporte público. Todas ellas han sido testadas en un modelo realizado para la estimación de las entradas en las estaciones de la red de metro de Madrid (Gutiérrez, Cardoso y García, 2008).

A continuación se presenta los diversos aspectos en los que puede aplicarse el SIG en estos modelos de predicción y las potenciales mejoras a los modelos realizados hasta ahora. En primer lugar, presentamos la ventaja de utilizar cálculos de cobertura a través de la red (*service areas*) en lugar de los habituales cálculos en línea recta (buffers); por otro lado se presenta la utilidad del SIG a la hora de calcular funciones de caída de la demanda, que podremos integrar posteriormente en el modelo; más tarde se presenta la utilidad del SIG para la elección de un umbral de distancia óptimo a la hora de integrar las variables de distancia (frente a la tradicional elección de umbrales estándar por asimilación de las distancias usadas en otros modelos); finalmente se presenta el uso de los SIG en la evaluación del modelo y el análisis de sus errores. En unas consideraciones finales se propone una continuación de esta línea de trabajo utilizando aplicaciones ráster con el fin de localizar espacios potenciales de ubicación de futuras estaciones.

DISTANCIAS POR LA RED VS DISTANCIAS EN LÍNEA RECTA

Una de las grandes ventajas que proporciona los SIG en el análisis de la demanda de los medios de transporte es la facilidad para calcular áreas cobertura o servicio en torno a las estaciones y usando diferentes ratios. Para ello, los diferentes software proporcionan dos métodos: la delimitación de áreas de servicio en línea recta (buffering commands) o, a través de los módulos de redes, el cálculo de áreas de servicio por la red (service area – network analysis).

Hasta ahora, tanto la mayor parte de los análisis de cobertura como los modelos de estimación directa basados en herramientas SIG y análisis de regresión han seguido la tradición de los análisis de accesibilidad: delimitan las áreas de servicio de las estaciones de transporte a partir de una determinada distancia en línea recta. Entre los modelos de estimación directa, sólo Kuby et al. (2004) calculan la distancia a través de la red, a partir de una aproximación ráster.

Sin embargo, el cálculo de distancias euclidianas constituye una aproximación poco realista, pues los peatones para acceder a las estaciones siguen la estructura de la red viaria, y no la línea recta. El procedimiento de cálculo de la distancia es importante en la práctica ya que existe una relación entre los métodos de medida de la distancia y la población cubierta (Gutiérrez y García-Palomares, 2008). En este mismo trabajo se ha mostrado como las diferencias entre las poblaciones cubiertas medidas de una u otra forma son significativas y varían en función de: el diseño urbano (densidad de red) (Figura 1a), presencia de barreras (b), densidad de estaciones o paradas (c), radio de distancia elegido (d) o la distribución de población y empleo (e).

Siguiendo el trabajo anterior, se propone utilizar en los modelos de estimación directa distancias a través de la red a la hora de delimitar las áreas de servicio de las estaciones. Partimos de la premisa de que el procedimiento de cálculo de distancias a través de la red no sólo es más preciso y realista, sino que además provee de mejores estimaciones de demanda de metro. A diferencia de Kuby et al. (2004) se propone usar funcionalidades de análisis de redes para el cálculo de las distancias a través de la red, lo que proporciona datos más precisos que los obtenidos mediante una aproximación ráster.

A la vez, la facilidad que nos da el SIG a la hora de obtener las áreas de servicio permite indagar en la elección de un radio adecuado para la inclusión de las variables independientes en el modelo. La distancia a las estaciones es un importante factor de fricción para explicar el uso de las mismas: cuanto más alejada se encuentra la población, menor es la probabilidad de que use el transporte público. La mayor parte de los trabajos usa una distancia estándar a la hora de delimitar áreas de servicio. Es una distancia más bien corta, el clásico 0,25 millas -unos 400 metros- (O'Neill et al.; 1992; Hsiao et al.; 1997; Murray, 2001; Zhao et al., 2003). Con ella se trata de representar la máxima distancia que la mayoría de las personas están dispuestas recorrer para utilizar el transporte público. Sin embargo, este umbral de distancia no debe considerarse como un umbral fijo, ya que depende de la zona (redes de autobuses urbanos de ciudades diferentes pueden tener diferentes puntos críticos en la caída de uso al aumento de la distancia) y del modo de transporte específico (la población está dispuesta a caminar más distancia para acceder a una red con las estaciones más espaciadas que a otra con una densidad mayor).

La elección de la distancia crítica para delimitar el área de servicio es una cuestión relevante en cualquier estudio de predicción de uso del transporte público y debe ser justificada en términos de captación de demanda. Con un umbral de distancia muy elevado se consideran áreas lejanas a la estación, que aportan pocos viajeros y pueden distorsionar los resultados finales. Por otro lado, un umbral de distancia muy bajo tiene como consecuencia la creación de áreas de servicio muy pequeñas, que dejan fuera una gran parte de los posibles usuarios de la estación. Dadas las facilidades que permiten los SIG para el cálculo de áreas de cobertura, y para la obtención de las variables explicativas en el interior de esos radios (por ejemplo, el cálculo de poblaciones o empleos en las distintas franjas de distancia) se propone elegir el umbral de distancia a partir de la correlación existente entre las variables independientes y el número de viajeros que entran en las estaciones. A partir de estas se elige el umbral para el que se obtienen las correlaciones más altas, es decir, para el que la capacidad explicativa de las variables independientes sea mayor.

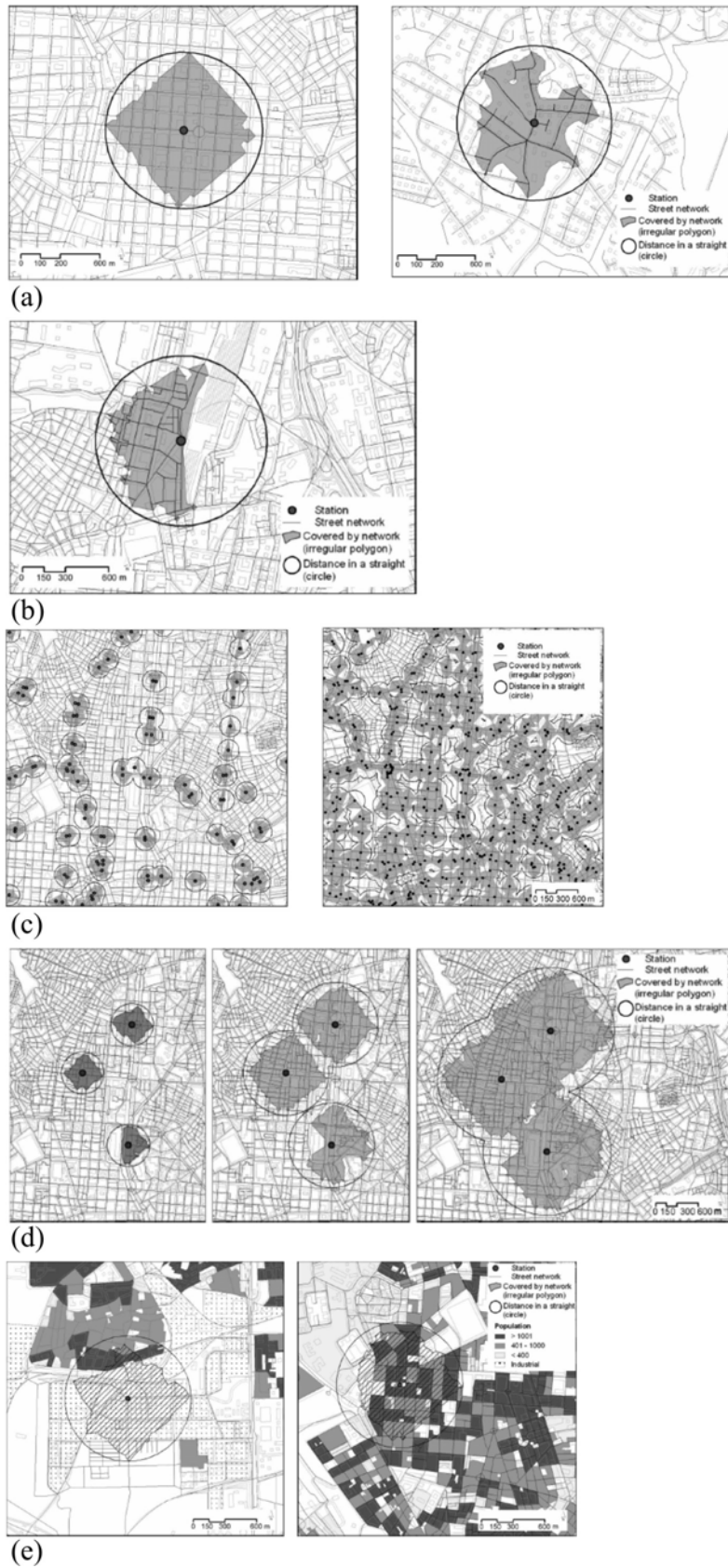


Figura 1. Elementos que inciden en las diferentes coberturas según sean medidas a través de línea reta o en distancias por la red. Tomado de Gutiérrez y García Palomares (2008)

Por ejemplo, en el caso de las entradas a las estaciones de metro Madrid, con el fin de seleccionar el radio de distancia más adecuado se realizaron pruebas de ajustes del modelo en cada una de las franjas consideradas (200 a 1.500 metros) con el objeto de determinar el umbral de distancia donde el modelo logra su máximo poder explicativo. A tal efecto, resultó que el alcance más efectivo se logra a los 900 m, con un coeficiente R^2 de 0.810. A partir de esta franja se mantiene constante el ajuste del modelo, lo cual sugiere que no es necesario aumentar la distancia.

Otra posibilidad a la hora de determinar el radio de distancia a elegir para estimar el uso de estaciones o paradas de transporte público es la de manejar los propios datos de demanda de las estaciones y encontrar el punto crítico a partir del cual la demanda ya es irrelevante. Sin embargo ese punto crítico puede no existir en realidad (sino una gradación paulatina en la caída de la demanda) y ser diferente para cada estación.

CÁLCULO DEL FUNCIONES DE USO DEL TRANSPORTE CON LAS DISTANCIA

La proximidad a las estaciones es una variable clave para explicar el uso del transporte público. En un estudio llevado a cabo en la bahía de San Francisco resultó que la probabilidad de utilizar el ferrocarril dependía básicamente de la proximidad de la vivienda y el empleo a las estaciones y del nivel de motorización (Cervero y Duncan, 2002). Levinson and Brown-West (1984) han puesto de manifiesto la influencia del efecto de caída de la demanda en la utilización del transporte público a través de las curvas de penetración de la demanda. Dado que existe una menor propensión a utilizar el transporte público a medida que aumenta la distancia a las estaciones o paradas, los modelos de estimación de la demanda deberían ser capaces de reflejar esta tendencia. Sin embargo los escasos modelos de estimación directa se limitan a considerar franjas de distancia (generalmente una sola franja, tomando como umbral el estándar de 0,25 millas), ignorando que dentro de la misma franja la propensión a utilizar el transporte público es mayor en su parte interior que en la exterior. Aquí se propone aprovechar las aplicaciones de los SIG para considerar en estos modelos una función de caída de la demanda (Figura 2). De forma, en el cálculo de las variables del entorno de las estaciones será posible dar más peso a las áreas más próximas (donde hay mayor probabilidad de utilizar el transporte público) que a las más lejanas (donde la probabilidad es menor).

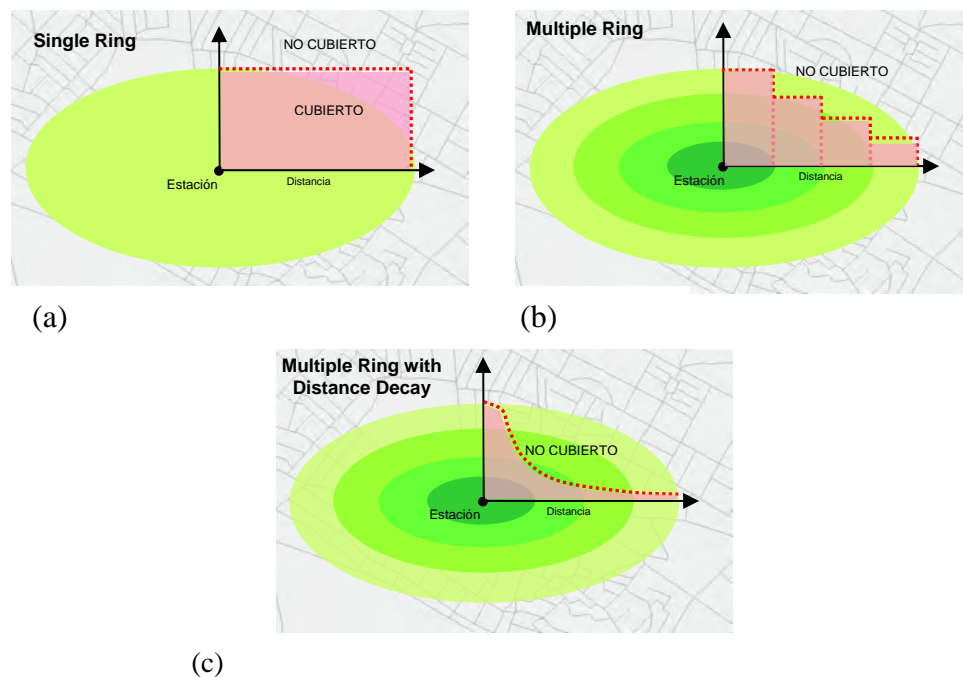


Figura 2. Tratamiento de las variables independientes en el modelo de regresión múltiple: a- Una única corona (todo o nada), b- Varias coronas de distancia (Proporciones según coronas), c- Función de caída de la demanda (pesos de acuerdo con la distancia a las estaciones).

Nuevamente los SIG tienen herramientas que permiten obtener de una forma sencilla estas curvas de caída de la demanda. En el caso del metro de Madrid se pudieron obtener a partir de la información de la última Encuesta Domiciliaria de Movilidad, realizada en 2004. En ella se dispone de coordenadas geográficas de los orígenes de todos los viajes recogidos, lo que permite georreferenciar cada uno de ellos en una capa vectorial de puntos. Sobre ella es posible seleccionar los viajes en los que el metro se utilizaba en primera etapa (el acceso a la estación era peatonal), diferenciando si su origen en el hogar o fuera de él. Cabe señalar que el 80% de los viajeros que entran en la red de metro lo hacen a pie y sólo el 20% restante desde otros modos de transporte. Dado que se conocía también el nombre de la estación de entrada en la red de metro, para cada viaje se calculó la distancia a través de la red entre el lugar de origen y la estación de entrada (Figura 3).

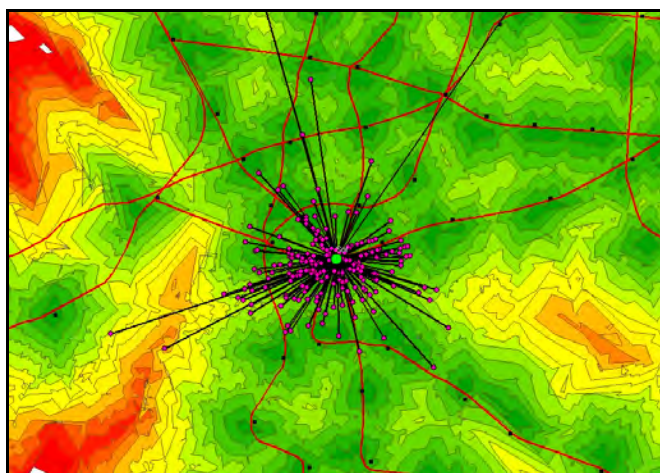


Figura 3. Mapa araña con la distribución geográfica de la demanda (viajeros entrados) a una estación.

Para estimar los ratios de viajes según distancia a las estaciones es posible delimitar franjas sucesivas en torno a las estaciones, a través del viario y cada 100 metros de distancia respecto a las estaciones, hasta un límite máximo de 1500 metros (Figura 3). Para tener en cuenta la competencia entre estaciones, se generan polígonos de Thiessen. Para cada una de las áreas de cobertura se calcula el volumen de población y empleo. La información de población o empleo suele estar referida a polígonos, ya sean secciones censales o zonas de transporte, de manera que para obtener la población cubierta puede usarse la siguiente fórmula (O'Neill et al., 1992; Chakraborty and Armstrong, 1997):

$$P = \sum_{i=1}^n p_i * \frac{a_{bi}}{a_{zi}} \quad (1)$$

P = Población en la franja de cobertura,

i ... n = Polígonos total o parcialmente incluidos en la franja,

p_i = Población o empleo en la sección o la zona de transporte,

a_{bi} = Área del polígono formado por la intersección entre el polígono de la franja de cobertura y la sección o la zona de transporte, y

a_{zi} = Área de transporte de la zona i

A partir de los datos anteriores es posible obtener las curvas de penetración o caída de la demanda. Es posible obtener diferentes curvas, ya sea en función del tipo de usuario o de la procedencia de los usuarios. Así por ejemplo podemos conocer las curvas en función del grado de motorización de los hogares -tal como hacen Cercero y Duncan (2002) o Levinson y Brown-West (1984)-. En el ejemplo que estamos presentando del modelo de estimación directa realizado para la red de metro de Madrid se han obtenido dos curvas en función de la proce-

dencia de los usuarios, ya sea desde sus hogares o desde el lugar de empleo. Para los viajes que acceden desde el hogar, los ratios se calculan dividiendo los viajes entre la población residente en la correspondiente franja de distancia. Para los que acceden desde fuera del hogar, los ratios se calculan dividiendo los viajes entre el empleo localizado en la franja de distancia correspondiente (figura 4 y 5). En el caso de la curva desde el hogar, la regularidad con la que los ratios decrecen con la distancia queda de manifiesto por el coeficiente de determinación obtenido para un ajuste lineal ($r^2 = 0,97$), mientras los ratios de viajes con origen fuera del hogar son especialmente altos en las primeras franjas, posiblemente debido a la localización de algunas estaciones en los principales polos de actividad económica, que atraen una gran cantidad de viajes. La función de ajuste no es lineal sino potencial, muestra un decrecimiento más marcado que el anterior, y el coeficiente de determinación es alto ($r^2 = 0,97$).

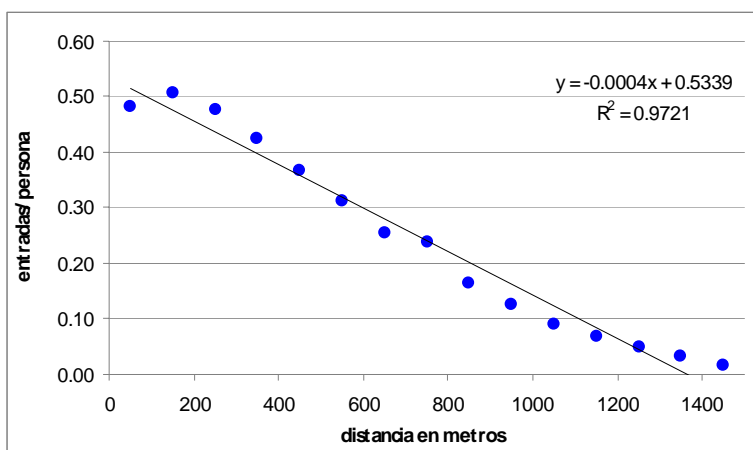


Figura 4. Ratio de viajes/población según franjas de distancia.

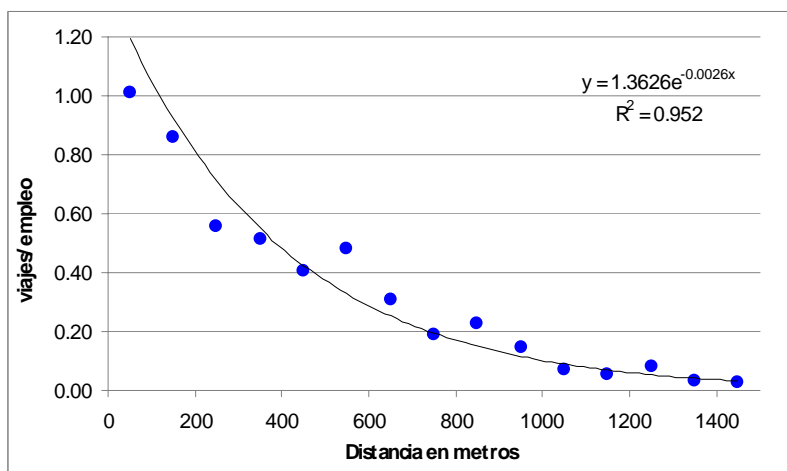


Figure 5. Ratios de viajes/empleo según franjas de distancia.

Con el fin de recoger la mayor propensión de uso del metro en los espacios más próximos a la estación, tal como señalábamos antes, es posible, y así se ha hecho en Madrid para el metro, usar estas curvas de penetración (en función de los ratios de viajes/población o viajes/empleo) para ponderar los atributos del entorno de las estaciones en cada franja de distancia que van a ser usados en los modelos de estimación directa como variables independientes en el modelo de regresión lineal múltiple.

MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA

Los modelos de estimación directa de la demanda se apoyan como decíamos en la presentación en el uso conjunto de SIG y métodos de análisis multivariados. Entre estos el modelo de regresión lineal múltiple es uno de los más utilizados, por su carácter práctico y preciso al momento de hacer análisis explicativos y/o predicciones. Los SIG permiten, como hemos visto, delimitar las áreas de cobertura y conocer la función de caída de la demanda que puede ser aplicada al modelo. Pero además, el SIG es clave en el cálculo de las variables independientes que van a representar las características de entorno de la estación.

En el ejemplo que estamos usando se ha intentado explicar el *número de viajeros entrados en las estaciones* (variable dependiente), obtenida a partir de las entradas por torniquetes medidas por el Consorcio de Transportes de Madrid y correspondientes al mes de noviembre 2004. La demanda de las estaciones de metro está influida por un conjunto de variables internas (características de las estaciones) y externas (características de las áreas de influencia de las estaciones y de las líneas) (Tabla 1). En cuanto a las variables internas se han seleccionado el tipo de estación (terminal, pasante, de conexión, intercambiador), número de accesos, número de líneas que pasan por ella, etc... Toda esta información está incluida en la cartografía de las redes de transporte, que está integrada en un SIG de la movilidad que posee el Consorcio de Transportes de la Comunidad de Madrid. En cuanto a las variables externas, los entornos de las estaciones se han caracterizado mediante atributos como población ocupada, extranjeros, estudiantes, nivel de motorización, empleo según actividades, densidad de viario, etc. Todas las variables de los entornos se han calculado mediante operaciones de superposición de capas en el SIG, y posteriormente a partir de la fórmula (1) señalada en el apartado

Tabla 1. Variables independientes

<p><i>Atributos del entorno de la estación</i> (*)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. POB_OCU: Población Ocupada 2. POB_EXT: Población Extranjera 3. POB_MUJ: Mujeres 4. POB_VIE: Población mayor de 65 años 5. POB_JOV: Población menor de 19 años 6. POB_EST: Estudiantes 7. HO_SINCO: Porcentaje de hogares sin coche 8. EMP_IND: Empleos en la industria 9. EMP_COM: Empleos en comercio 10. EMP_SAN: Empleos en la sanidad 11. EMP_EDU: Empleos en la educación 12. EMP_ADM: Empleos en la administración 13. CV_UsoSUELO: Coeficiente de variación del índice de mezcla de usos del suelo 14. DS_UsoSUELO: Desviación típica del índice de mezcla de usos del suelo 15. DEN_VIAS: Densidad del viario 16. IND_RODEO: Índice de rodeo para acceder a la estación 17. D_POB: Densidad de población 18. D_EMP: Densidad de empleos 	<ol style="list-style-type: none"> 19. POB_LIN: Población en el entorno de las estaciones de la línea 20. EMP_LIN: Empleo en el entorno de las estaciones de la línea <p style="text-align: center;"><i>Características de la Estación/Sistema de transporte</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 21. CORONAS: Localización de la estación en las coronas metropolitanas 22. Dist_POND: Distancia ponderada entre estaciones 23. Dist_EUCLID: Distancia desde la estación al centro de Madrid 24. NUM_BOCA: Número de accesos de la estación 25. NUM_LIN: Número de líneas que pasan por la estación 26. Líneas_EMT: Número de líneas de autobuses urbanos en el entorno 27. Líneas_INT: Número de líneas del autobús interurbanos en el entorno
--	---

(*) Las variables población y empleo total, inicialmente consideradas, fueron después eliminadas por su alta correlación con las variables de población y empleo desagregadas.

Para realizar el modelo de regresión se eliminaron por un lado estaciones que tenían un volumen de entrada anormal o cuyas entradas procedían de otros modos de transporte (intercambiadores). Por otro lado, mediante un análisis exploratorio de los datos en GeoDa, con umbrales de 1.5 y 3 distancia intercuartil (Anselin et al, 2004) es posible detectar la presencia de estaciones con un volumen de entradas que se explica por elementos puntua-

les, como es el caso de la estación de Sol (lugar de referencia en Madrid), Ciudad Universitaria, Aeropuerto o Casa de Campo (zona verde de recreo). En total se han excluido 34 estaciones, incluyendo finalmente en el modelo 156 estaciones.

Finalmente, señalar que se han realizado pruebas con las variables en valores absolutos, densidades y porcentajes, a fin de evaluar su ajuste con la variable dependiente. Luego de numerosos ensayos se vió que, en la mayoría de los casos las variables expresadas en valores absolutos alcanzan mejores resultados. Los análisis se realizaron en el paquete estadístico SPSS v.15, utilizando el método de selección de variables *hacia atrás* o *backward*, debido a que se obtiene un mejor ajuste y mayor número de indicadores que permiten conocer su fiabilidad.

En la tabla 2 se presenta el modelo obtenido, ajustado con variables internas o de servicio (Número de accesos, Número de líneas, Líneas interurbanos, y Empleo en la línea); algunas variables de diseño (Índice de rodeo); variables de población y empleo desagregados según su caracterización socio-económica (Población extranjera, Población vieja, Población ocupada, Empleo en el comercio, Empleo en administración). En conjunto las variables predictoras poseen un coeficiente R^2 de 0,810.

Tabla 2. Modelo de Regresión Lineal Múltiple

VARIABLES INDEPENDIENTES	COEFICIENTES	ERROR STANDARD	t	COEFICIENTES ESTANDARIZADOS
(Constante)	-84482,668	19726,282	-4,283	
Número de accesos	19573,513	4851,596	4,034	,190
Número de líneas	81919,740	20667,192	3,964	,273
Índice de rodeo	-3160,521	2529,074	-1,250	-,050
Población extranjera	32,742	14,301	2,290	,104
Población vieja	26,272	9,995	2,628	,140
Población ocupada	11,519	5,829	1,976	,098
Empleo en el comercio	86,598	20,089	4,311	,198
Empleo en administración	18,281	10,824	1,689	,079
Líneas interurbanas de bus	285,864	160,565	1,780	,076
Empleo en la línea	,559	,136	4,099	,307
Número de estaciones: 156				
Número de variables independientes: 10				
Grados de libertad: 145				
F: 61,746 (sig = 0.000)				
Durbin Watson: 1,905				
R: 0,900				
R ² : 0,810				
R ² ajustado: 0,797				

El modelo propuesto ofrece además unos coeficientes consistentes. Los *no estandarizados* interesan para medir las elasticidades entre la variable dependiente y cada variable explicativa del modelo. Por ejemplo, entre las socio-económicas cabe destacar que, por cada nuevo empleo en comercio dentro en la zona de influencia de la estación se produce un incremento de 86 viajes mensuales, mientras que por cada nuevo residente extranjero o mayor de 65 años, el incremento es de 32 y 26 viajes mensuales respectivamente, poniendo en evidencia la vinculación de estos con el transporte público. En el caso de los coeficientes más bajos podemos ver cómo, por cada nuevo empleo en la administración u ocupado en general, su elasticidad es solo de 11 y 18 viajes mensuales. Respecto a las variables internas, son las que suponen las mayores elasticidades estimadas. Una nueva línea de metro que pase por la estación supone un incremento de 81.919 viajes mensuales, mientras que por cada nueva boca de acceso el número de viajeros aumentaría en 19.573.

ANÁLISIS DE LOS ERRORES: LA AUTOCORRELACIÓN SERIAL Y ESPACIAL EN LOS RESIDUOS

Cuando se emplean modelos predictivos es necesario realizar el contraste de las hipótesis para verificar la violación de algún supuesto y analizar los errores. Una de las más utilizadas es la hipótesis de *no autocorrelación* estadística o serial, y para ello, el análisis de los residuos es considerado una herramienta de gran valor para detectar tendencias (autocorrelación) que invaliden las estimaciones realizadas. Para observar esta situación existen varias maneras: por medio de test o pruebas estadísticas, o visualmente a través de gráficos. En nuestro trabajo hemos empleado el contraste de Durbin-Watson, que detecta la presencia de variables correlacionadas y por tanto en los residuos. Una regla empírica afirma que si DW vale 0 hay autocorrelación perfecta positiva, si se aproxima a 2 no existe autocorrelación, y si se aproxima a 4 la autocorrelación es perfecta negativa. El valor obtenido es de 1,93 -muy próximo al 2-, por lo tanto se descarta la existencia de autocorrelación serial.

Más interés tiene en esta comunicación la posibilidad de medidas para el análisis de la autocorrelación en el caso de datos geográficos. En estos casos es posible utilizar mediadas similares que consideren esa componente espacial. En un análisis de autocorrelación espacial se intenta medir la correlación que una misma variable tiene en diferentes unidades espaciales contiguas, por ello se muestra muy útil para descubrir cómo influye la componente espacial en el comportamiento de la variable analizada sobre el territorio (Buzai, 2006). De acuerdo al valor obtenido se pueden producir las siguientes situaciones:

1. Que exista similitud: el valor de las unidades espaciales vecinas es similar, por lo tanto se verifica una autocorrelación espacial positiva.
2. Que exista disimilitud: el valor de las unidades espaciales vecinas es muy distinto (comportamiento contrario), se verifica una autocorrelación espacial negativa.
3. Que no se produzca ninguna de las situaciones anteriores: las unidades espaciales contiguas adquieren valores de forma aleatoria, lo que indicaría ausencia de autocorrelación espacial.

Para el análisis de la autocorrelación en modelos de predicción de la demanda de las estaciones de transporte público es posible emplear por un lado, el índice I de Moran para medir la autocorrelación espacial global, y por otro, el método LISA¹ (Local Indicators of Spatial Association) como aproximación local, aplicados mediante el software de análisis exploratorio GeoDA.

En el modelo obtenido para las estaciones de metro de Madrid, el valor calculado para el índice de Moran es de 0,0228 que al hallarse muy próximo a cero descarta prácticamente la presencia de autocorrelación espacial, lo cual significa que el modelo en forma global predice bien porque el error en un punto no están influidos por los vecinos. En el caso del análisis gráfico, se utiliza con frecuencia el scatterplot donde se contrastan los valores tipificados de los residuos contra los w_{residuos} estimados a partir de sus unidades espaciales vecinas; la recta de ajuste indica la ausencia de tendencia en la distribución de los puntos (Figura 6), con lo cual se verifica que no existe autocorrelación espacial en los errores de las estimaciones.

La cartografía de residuos es otro potente indicador de la validez en las estimaciones, ya que permite detectar signos de autocorrelación en los errores, situación que daría indicio de problemas en el modelo utilizado (Figura 7).

¹ El método LISA permite hacer una descomposición del índice I de Moran y verificar cuanto contribuye cada unidad espacial a la formación del valor global.

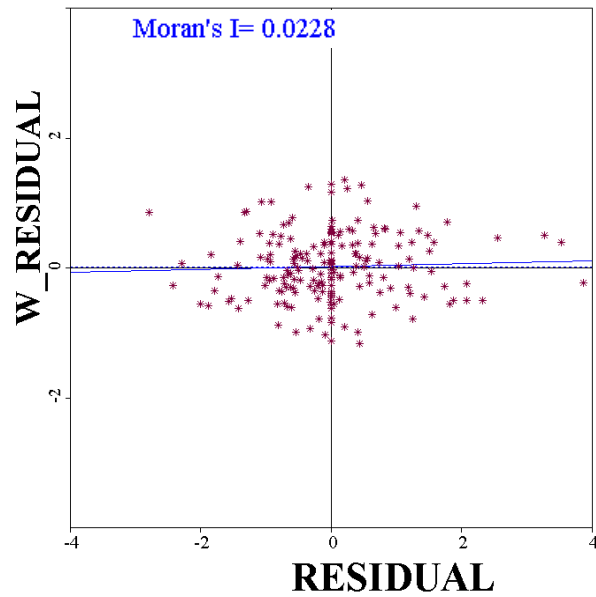


Figura 6. Índice I de Moran y Scatterplot de los residuos contra los w_residuos estandarizados

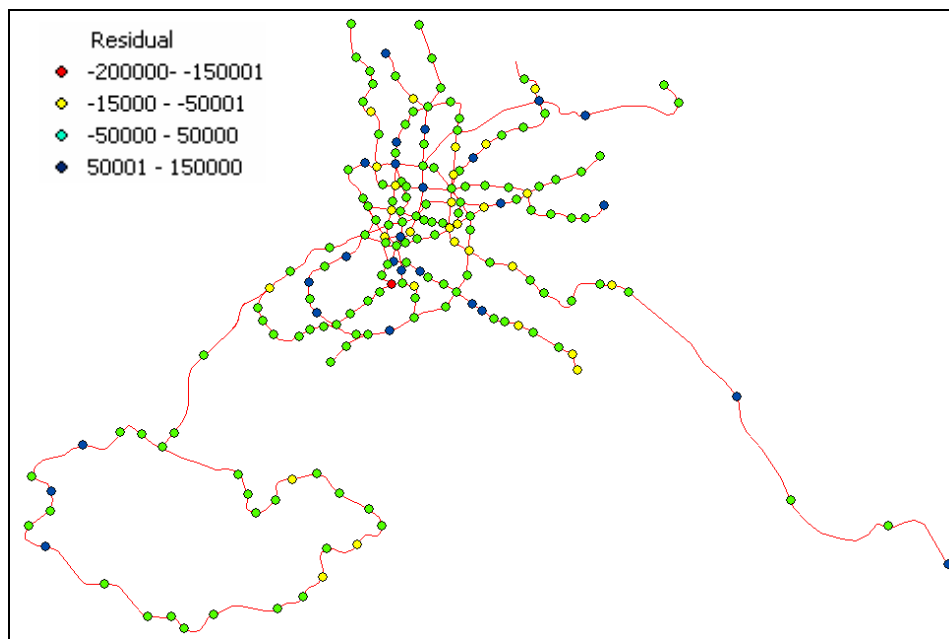


Figura 7. Distribución espacial de los residuales del Modelo de Estimación Directa.

Igualmente, para verificar la existencia de no autocorrelación espacial significativa, es posible realizar un test de hipótesis con el objetivo de comprobar si la configuración espacial de los residuos se produce aleatoriamente. Una vez establecidas ambas hipótesis (H_0 = es aleatoria vs H_1 = no es aleatoria) y especificado el nivel de significación del 5 % (p valor = 0,05) que indica la probabilidad de que rechazemos la H_0 , siendo verdadera. Entonces, si la probabilidad de ocurrencia de un valor particular obtenido en una prueba es igual o menor que p rechazamos H_0 y aceptamos H_1 .

En el mapa de la figura 8 se observa que la mayor parte de los valores no resulta significativo al umbral fijado (0,05), por lo tanto, debe aceptarse la H_0 que indica una configuración aleatoria de los residuos; solo en 21 estaciones de la red, se acepta la H_1 que indica una configuración espacial no aleatoria.

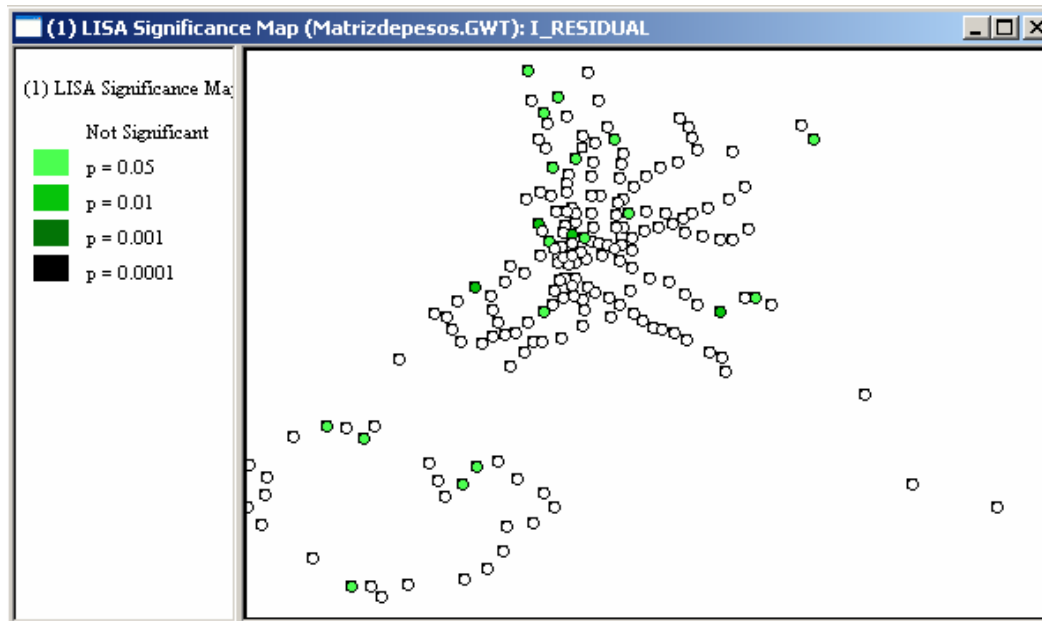


Figura 8. Mapa de significación LISA

CONSIDERACIONES FINALES

Conocida la ecuación que explica la demanda en las estaciones es posible buscar cuáles son aquellos espacios potenciales para la construcción de una nueva estación. Para ello podemos recurrir a las aplicaciones SIG ráster y representar en diferentes capas cada una de las variables explicativas. Posteriormente, mediante operaciones de capas es posible aplicar la ecuación del modelo con el fin de obtener un valor de las potenciales entradas en cada una de las celdas.

Para las variables explicativas podemos usar mapas de densidades, calculados a partir de distribuciones kernel, que permite construir superficies continuas de los datos y obtener valores de densidad para cada celda. Una vez generadas las capas de densidades y conocidos los coeficientes de regresión calculados para cada una de las variables explicativas, se propone aplicar la ecuación lineal en la herramienta ráster calculador, de manera que se obtenga una nueva capa con la predicción a nivel de celdas. Ello permitiría identificar la localización (el pixel) con la ubicación óptima de una futura estación en cuanto a demanda potencial de viajes se refiere. En estos momentos nos encontramos trabajando en este tipo de aplicaciones, de las que esperamos tener resultados en los próximos meses.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo ha sido financiado por el CRTM (Consortio Regional de Transportes de Madrid) y el Plan Nacional de I+D+I del Ministerio de Educación y Ciencia (TRA2005-06619/MODAL).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anselin, L., Ibnu, S. y Youngihn K.. (2004): Geoda: an introduction to spatial data analysis. Spatial Analysis Laboratory. University of Illinois, Urbana-Champaign.

- Buzai, G. y Baxendale, C. (2006): Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Buenos Aires.
- Cervero, R. (2006): Alternative Approaches to Modeling the Travel-Demand Impacts of Smart Growth. *Journal of the American Planning Association*, 72, 3: 285–295.
- Cervero, R. y Duncan, M (2002): Residencial self selection and rail commuting: a nested logit analysis. Berkeley, University of California Transportation Center, working paper 604.
- Chakraborty, J. y Armstrong, M. (1997): Exploring the use of buffer analysis for the identification of impacted areas in environmental equity assessment. *Cartography and Geographic Information Systems*, 24 (3): 145-157.
- Gutiérrez Puebla, J. (2006): Los Sistemas de Información Geográfica en la planificación del transporte. Ponencia presentada en el XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. Granada, 2006.
- Gutiérrez, J., Cardoso y García Palomares, J. C. (2007): Modelos de demanda potencial de viajeros en redes de transporte público: aplicaciones en el metro de Madrid. IV Seminario Ordenamiento territorial. Encuentro Internacional Interdisciplinario. Universidad Nacional de Cuyo (Argentina)
- Gutiérrez, J., Cardoso y García-Palomares, J. C. (2008): Modelo de estimación directa de la demanda de metro a nivel de estación: un enfoque alternativo basado en regresión múltiple, funciones de caída de la demanda y herramientas SIG. XV Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte. Cartagena de Indias (Colombia).
- Gutiérrez, J. and García-Palomares, J.C. (2008): Distance measure impacts of public transport service areas. *Environment and Planning B, Planning and Design*, 35: 480-503.
- Horner, M.W. y Murray, A.T. (2004): Spatial representation and scale impacts in transit service assessment". *Environment and Planning B-Planning and Design*, 31: 785-797.
- Hsiao S., Lu J., Sterling J. y Weatherford M. (1997): Use of Geographic Information Systems for analysis of transit pedestrian access. *Transportation Research Record*, 1604: 50-59.
- Kuby, M., Barranda, A. y Upchurch, C. (2004): Factors influencing light-rail station boardings in the United States. *Transportation Research A*, 38, 3: 223-247.
- Levinson, H.S. y Brown-West, O. (1984): Estimating bus ridership" *Transportation Research Record* 965, 8-12.
- Miller, H. (1999): Potential contributions of spatial analysis to geographic information systems for transportation (GIS-T). *Geographical Analysis*, 31: 373-399.
- Miller, H. y Shaw, S. (2001): *Geographic Information Systems for Transportation: Principles and Applications* Oxford University Press, New York.
- Murray, A.T. (2001): Strategic analysis of public transport coverage. *Socio-Economic Planning Sciences*, 35: 175-188.

- Murray, A.T., Davis R., Stimson R.J. y Ferreira L. (1998): Public transport access. *Transportation Research D*. 319-328.
- Nyerges, T. (1995): Geographic information system support for urban/regional transport analysis. Ed. S Hanson: *The Geography of Urban Transportation*. Guilford Press, New York, 240-268.
- O'Neill, W.A., Ramsey, R.D. y Chou J. (1992): Analysis of transit service areas using Geographic Information Systems. *Transportation Research Record*, 1364: 131-138.
- Peng, Z. y Dueker K. (1995): Spatial data integration in route-level transit demand modelling. *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association*, 7: 26-37.
- Zhao F., Chow L.F., Li M.T., Gan A. y Ubaka I. (2003): Forecasting transit walk accessibility: a regression model alternative to the buffer method. *Transportation Research Board Annual Meeting*.

Ibáñez, Joan Josep y Burriel, José Ángel (2008): Mapa de cubiertas del suelo de Cataluña: metodología de la tercera edición. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 70-75. ISBN: 978-84-96971-53-0.

MAPA DE CUBIERTAS DEL SUELO DE CATALUÑA: METODOLOGIA DE LA TERCERA EDICIÓN

Ibáñez, Joan Josep y Burriel, José Ángel

CREAF, Edifici C, Campus de la UAB 08193 – Cerdanyola del Vallès j.ibanez@creaf.uab.cat, j.angel@creaf.uab.cat

RESUMEN

El Mapa de Cubiertas del Suelo de Cataluña (MCSC) es un mapa digital de utilización libre y gratuita que se puede descargar a través de Internet (www.creaf.uab.cat/mcsc). Como las dos ediciones que le preceden, esta edición se realiza por fotointerpretación y digitalización en pantalla de ordenador mediante el SIG MiraMon, a partir de ortofotos digitales generadas por el Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC), utilizándose como soporte diversas cartografías temáticas (de hábitats, forestales, de cultivos, etc.) y ortofotos de otras épocas. La unidad espacial mínima representable es de 500 m², la escala de trabajo es aproximadamente 1:1.800. Las ortofotos utilizadas tienen un pixel de 0,5 metros y corresponden al período 2005-2007. El MCSC-3 representa una notable mejora con respecto a las anteriores ediciones en relación a la leyenda temática ya que se distinguen los principales tipos de bosques y de cultivos y las diferentes tipologías urbanas. La leyenda del MCSC-3 se organiza jerárquicamente en 5 niveles: al nivel 2 es comparable con las dos ediciones anteriores, al nivel 3 es comparable con la segunda y al nivel 4 será comparable con el nuevo mapa de cubiertas de España llamado SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España).

Palabras Clave: Fotointerpretación, MiraMon, usos del suelo, cartografía temática, ortofotos

ABSTRACT

The Land Cover Map of Catalonia (MCSC) is a digital map for free use downloadable from <http://www.creaf.uab.cat/mcsc>. As the two editions that precede it, this edition has been elaborated by photographic interpretation and digitization of digital orthophotomaps generated by the Mapping Agency of Catalonia (ICC), different thematic cartography (of forest, of habitats, of crops, etc.) being used as support and orthophotomaps of other periods. This process has been done on-screen with the MiraMon GIS software. The representable minimum area unit is 500 m², the working scale is approximately 1:1.800. The used orthophotomaps have a pixel of 0,5 meters and correspond to the 2005-2007 period. The MCSC-3 represents a remarkable improvement from previous editions in relation to its thematic legend since main types of forests, crops and urban typology are distinguished. The legend of the MCSC-3 is hierarchically organized in 5 levels: at level 2 it is comparable to the two previous editions, at level 3 it is comparable to the second and at level 4 it will be comparable to the new land cover map of Spain SIOSE (Information System on Occupation of the Ground in Spain).

Key Words: Photographic interpretation, MiraMon GIS, land use, thematic cartography, orthophotomaps

ANTECEDENTES

El Mapa de Cubiertas del Suelo de Cataluña (MCSC, figura 1) es una cartografía temática digital sobre las cubiertas del suelo en Cataluña. Se inició el año 1994 como consecuencia de la necesidad de cartografiar con detalle los bosques de Cataluña. De este modo, fue posible saber con precisión la localización de las zonas arboladas y la superficie que ocupaban, elementos primordiales para poder evaluar las existencias de las diferentes especies forestales en el transcurso del Inventario Ecológico y Forestal de Cataluña (IEFC, Gracia et al 2004). Sin embargo, en aquella primera fase sólo recogía las cubiertas estrictamente forestales. Posteriormente la leyenda se fue ampliando hasta recoger todas las cubiertas del suelo, convirtiéndose así en una herramienta básica

para el conocimiento, la planificación y la gestión del territorio. Más información sobre la primera edición del MCSC se puede encontrar en Burriel et al. (2001), Ibáñez et al. (2002) o a través de Internet (<http://www.creaf.uab.es/mcsc>). Desde esta misma dirección de Internet se puede obtener más información de la segunda y tercera ediciones del mapa y descargar las capas de las distintas ediciones escogiendo entre diferentes ámbitos territoriales y formatos. También se puede obtener más información de la segunda edición en Burriel e Ibáñez (2004) y en Ibáñez y Burriel (2006).

Entre la primera y segunda ediciones del mapa se produjo un importante salto cualitativo relativo a la escala ya que mientras la escala de las imágenes de referencia de la primera edición es 1:25.000 (píxel de 2,5 m), la de las ediciones segunda y tercera es 1:5.000 (píxel de 0,5 m).

La mejor resolución de las imágenes de la segunda edición propició no solamente el cambio de escala sino también una leyenda más desglosada. De modo que a cada clase de la primera edición corresponde una o varias clases de la segunda. Para garantizar que las diferentes ediciones fueran siempre comparables se optó por una leyenda jerárquica, de modo que en el nivel 2 de la misma (e inferiores) todas las ediciones del MCSC son comparables y al nivel 3 son comparables la segunda y tercera ediciones.

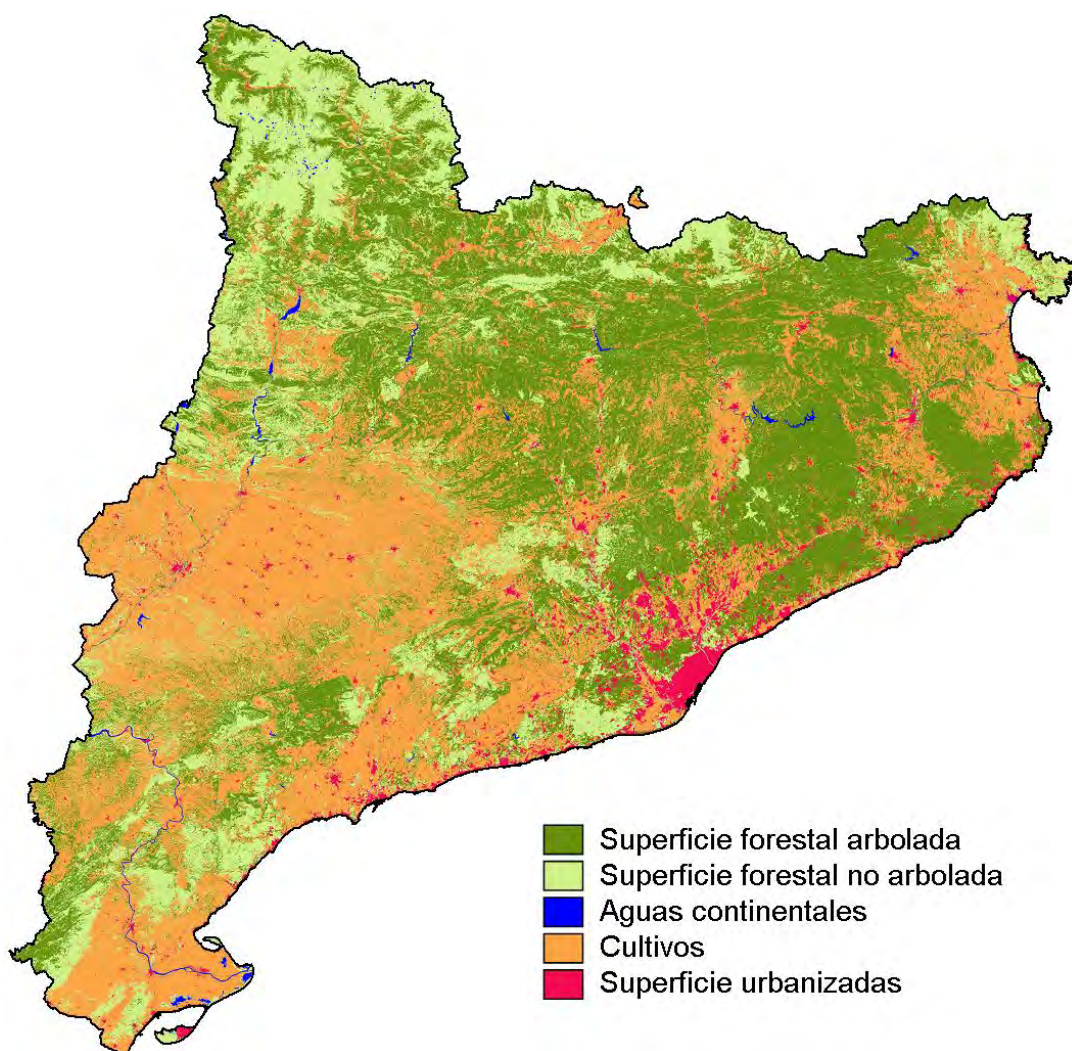


Figura 1. Mapa de Cubiertas del Suelo de Cataluña (primera edición con imágenes de referencia de 1993). Se muestra con una simplificación de la leyenda temática original (que es de 22 categorías)

ZONA DE ESTUDIO

Cataluña (figura 2) es un territorio europeo de aproximadamente 32.000 km² situado al noreste de la Península Ibérica. El MCSC se produce en el CREAM (Centro de Investigaciones Ecológicas y Aplicaciones Forestales) y está financiado por el gobierno autónomo de la Generalitat. Inicialmente el MCSC contó únicamente con financiación del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda (DMAH). Sin embargo, a partir de la segunda edición el Departamento de Política Territorial y Obras Públicas (DPTOP) participa también en la financiación del MCSC.

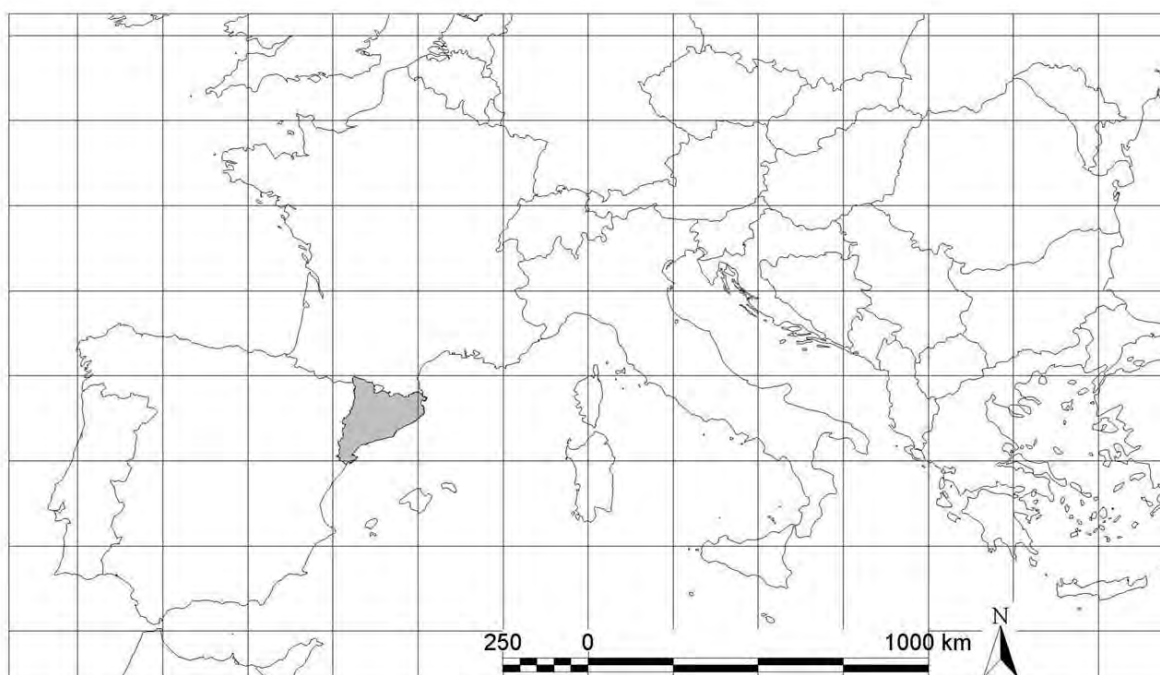


Figura 2. Zona de estudio.

METODOLOGÍA

Respecto a la segunda edición no ha habido cambios en la resolución de las imágenes de referencia, que siguen teniendo un píxel de 0,5 metros y continúan siendo elaboradas por el Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC). Naturalmente si cambia la fecha de captura de las imágenes de referencia, que en el caso de la tercera edición corresponden al período 2005-2007. Y también varía la metodología de obtención de estas imágenes respecto a las de edición anterior puesto que estas imágenes fueron obtenidas mediante una cámara digital. Como resultado del cambio de cámara y de los tratamientos posteriores de las mismas las imágenes actuales permiten una mejor diferenciación por fotointerpretación de determinadas especies arbóreas.

En lo relativo a la fotointerpretación, unidad mínima de captura de la información (500 m²) y bases de datos asociadas, no ha habido prácticamente cambios respecto a la segunda edición. Por lo que sigue siendo completamente válido todo lo referido en Burriel e Ibàñez (2004) relativo a bases de datos asociadas y a otras novedades en la presentación de la cartografía.

El mayor cambio metodológico de esta edición respecto la anterior se ha producido en la leyenda, en que:

1. Se ha ampliado notablemente el número de categorías. Entre otras cosas, ahora se distinguen los bosques de las principales especies forestales, los principales tipos de cultivos y una considerable cantidad de cubiertas urbanas.

2. Se ha buscado una absoluta compatibilidad con la leyenda de SIOSE con el doble objetivo de poder producir SIOSE en Cataluña a partir del MCSC-3 (en este mismo foro se ha presentado otra comunicación relativa a este aspecto, véase Burriel et al.) y, no menos importante, de poder mantener una coherencia estadística entre la información de cubiertas disponible en las diferentes administraciones: Generalitat de Cataluña (información que proviene de cartografía a escala 1:5.000) y Administración General del Estado (información que provendrá de cartografía a escala 1:25.000).

Como resultado, la leyenda de la tercera edición del mapa de cubiertas del suelo de Cataluña (MCSC-3) consta de 5 niveles. En los 2 primeros es comparable a MCSC-1 (año 1993), en el tercero comparable a MCSC-2 (período 2000-2003) y en el cuarto nivel comparable a SIOSE (año 2005).

Como ya se ha indicado, las imágenes de referencia (ortofotos del ICC) permiten una cierta diferenciación de especies forestales (figura 3). Las imágenes SPOT5 permiten distinguir entre los principales tipologías de bosques (coníferas, caducifolios y esclerofilos, figura 4). Pero la separación final de todas las especies forestales que se han considerado en la leyenda no sería posible sin el apoyo de otras cartografías temáticas (mapa de hábitats de Cataluña, mapa forestal de España, etc.) y bases de datos forestales (Inventario Forestal Nacional, Inventario Ecológico y Forestal de Cataluña, etc.). En el caso de los cultivos la situación es semejante pero en este caso las cartografías temáticas de soporte utilizadas son SIGPAC y el mapa de cultivos y aprovechamientos (en las pocas zonas en que está actualizado). Finalmente, en las zonas urbanizadas se utilizan elementos de bases topográficas (del ICC), del catastro (ejes de calles, etc.), siempre que se ajusten a las imágenes de referencia, e información de bases de datos relativas a edificios o zonas de carácter administrativo, educativo, industrial, etc., que permiten distinguir algunas categorías que por la mera fotointerpretación hubieran pasado desapercibidas. Todavía se utiliza otra mucha cartografía de soporte (perímetros de incendios forestales, etc.). Pero la diferencia fundamental respecto a la segunda edición del mapa es que para una parte de las nuevas categorías de la leyenda la utilización de estas cartografías y bases de datos de apoyo es fundamental e imprescindible (figura 5).

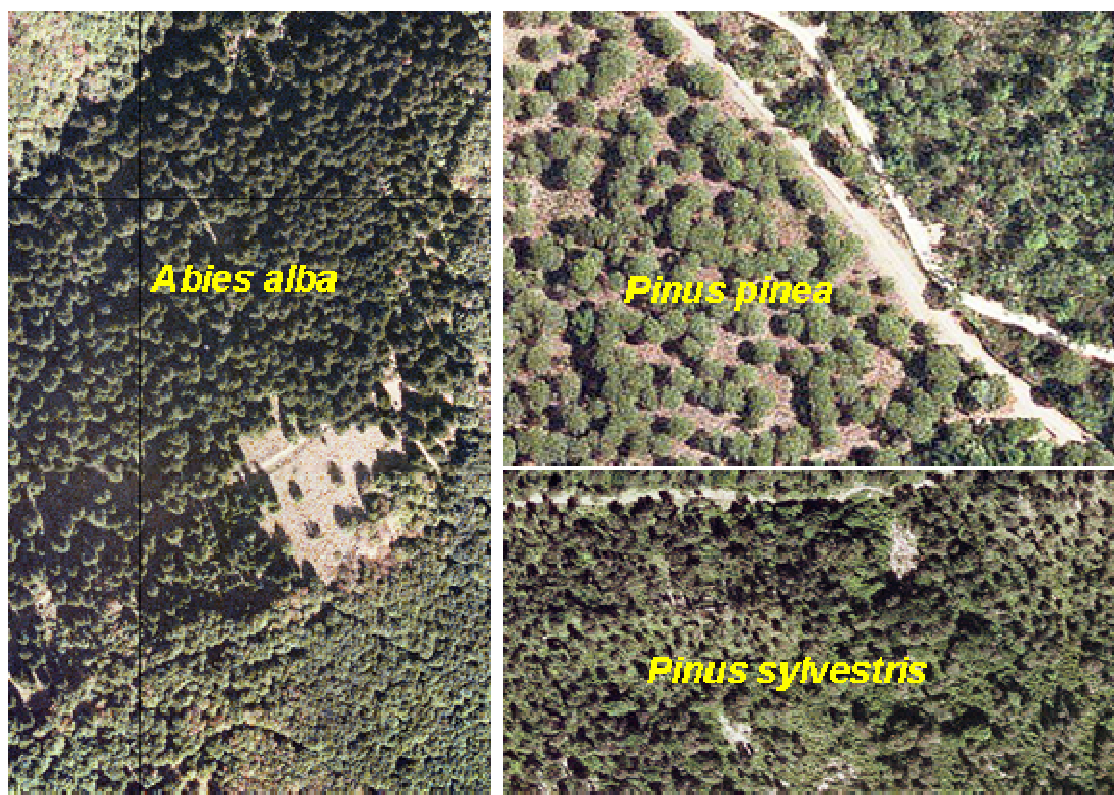


Figura 3. Las características de la copa y el color, el grano y la textura de las ortofotos (ICC) permiten distinguir las principales especies arbóreas forestales.

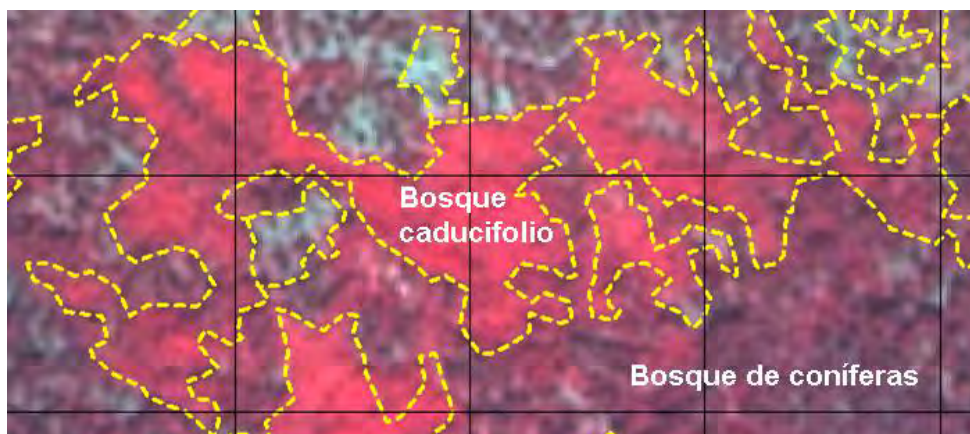


Figura 4. Las imágenes SPOT5 resultan muy útiles para distinguir entre los principales tipos de bosques (en este caso entre un bosque caducifolio y uno de coníferas). Ortoimagen IRC SPOT (escena 42-264) suministrada por el IGN.



Figura 5. Para algunas de las categorías del MCSC-3 es imprescindible disponer de un conocimiento especial de la zona o de una información adicional. Sin este conocimiento especial de la zona una información adicional alternativa (base de datos de centros hospitalarios, por ejemplo) difícilmente se podría incluir el hospital de Sant Pau (Barcelona) dentro de la categoría de equipamientos sanitarios.

RESULTADOS

Se ha previsto que la producción de la tercera edición del MCSC esté terminada a mediados del año 2009. Actualmente ya se dispone de un conjunto importante de hojas acabadas que se pueden obtener desde <http://www.creaf.uab.es/mcsc>. Como en anteriores ediciones está previsto que se pueda disponer libremente de las hojas de esta serie cartográfica tanto en el formato vectorial estructurado original de la serie –MiraMon– (Pons, 2008) como en formato ráster de MiraMon, siguiendo el corte oficial de las hojas 1:25.000 del ICC. También está previsto que se pueda disponer de esta serie cartográfica según diferentes ámbitos administrativos:

municipios, comarcas, espacios naturales protegidos, etc. Finalmente, bajo petición, se puede suministrar en otros formatos. Una vez terminada la serie llegará el tiempo de las comparaciones con ediciones anteriores, el tiempo de las estadísticas y de las discusiones sobre la dinámica de las cubiertas del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos reconocer el trabajo del equipo de fotointerpretadores, agradecer al DMAH y al DPTOP de la Generalitat de Cataluña la financiación del proyecto y al ICC el suministro de los ortofotomapas y otros productos cartográficos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Burriel, J.A.; Ibáñez, J.J. y Pons, X. (2001): El Mapa de Cubiertas del Suelo de Cataluña: herramienta para la gestión y la planificación territorial. *II Congreso Forestal Español. Actas y Comunicaciones*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Volumen 4, pp. 83-89.

Ibáñez, J.J.; Burriel, J.A. y Pons, X. (2002): El mapa de cobertes del sòl de Catalunya: una eina per al coneixement, la planificació y la gestió del territori. *Perspectives Territorials*, 3: 10-25.

Burriel, J.A. e Ibáñez, J.J. (2004): Actualización del mapa de cubiertas del suelo de Cataluña: aportaciones a la cartografía detallada del territorio catalán. En: Conesa C. et al (eds), *El empleo de los SIG y la teledetección en planificación territorial*. Servicio de publicaciones de la universidad de Murcia, pp. 333-342.

Gracia, C.; Abril, M.; Barrantes, O.; Burriel, J.A.; Ibáñez, J.J.; Mata, T. y Vayreda, X. (2004): *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Mètodes*. CREAF, Bellaterra, 112 pp + mapa.

Ibáñez, J.J. y Burriel, J.A (2006): MCSC: a high-resolution thematic digital cartography. En: *Proceedings of the 5th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems*. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona. Volum 2, pp. 278-280.

CREAF (2008): Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya (MCSC): <http://www.creaf.uab.es/mcsc>

Pons, X. (2008): MiraMon. Geographic Information System and Remote Sensing Software. CREAF, Bellaterra.

Montero-Serrano, J.; Bosque Sendra, J. y Romero-Calcerrada, R. (2008): Cuantificación y cartografía de la sostenibilidad social a partir de tipologías urbanísticas. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 76-91. ISBN: 978-84-96971-53-0.

CUANTIFICACIÓN Y CARTOGRAFÍA DE LA SOSTENIBILIDAD SOCIAL A PARTIR DE TIPOLOGÍAS URBANÍSTICAS

Montero-Serrano, J.¹; Bosque Sendra, J.¹ y Romero-Calcerrada, R.²

(1) Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. Calle Colegios, 2. Alcalá de Henares, Madrid. javier.montero@alu.uah.es, joaquin.bosque@uah.es

(2) E.S. De CC. Exp. y Tecnología. Universidad Rey Juan Carlos. Calle Tulipán s/n. Móstoles, Madrid. raul.romero.calcerrada@urjc.es

RESUMEN

De las tres dimensiones con que típicamente se caracteriza el desarrollo sostenible (natural, económica y social), los aspectos sociales son probablemente los menos desarrollados. El presente estudio pretende mejorar esta situación, mediante 1) un breve análisis conceptual de la dimensión social y sus componentes, y 2) la representación espacial de un sistema de indicadores que, a partir de factores urbanísticos, caracterizables mediante teledetección e información secundaria, capture los aspectos sociales más importantes. El área de estudio pertenece a la Zona de Especial Protección de Aves nº56 'Encinares de los ríos Alberche y Cofio', en Madrid.

Se analizan, a nivel de sector urbano, cuatro factores clave relacionados con el urbanismo sostenible: la densidad, la diversidad de usos, la diversidad social y el acceso a zonas verdes, y se exploran las conexiones entre estos elementos y los componentes de la sostenibilidad social.

Creemos que la metodología planteada permite mejorar la resolución espacial de los indicadores de sostenibilidad social (normalmente desarrollados a nivel nacional o provincial) y constituye una alternativa informativa y viable, adecuada para la integración de estos datos con los del medio físico (generalmente más precisos y cuantitativos). Se recomienda, por tanto, seguir trabajando en este tipo de indicadores, hasta lograr una representación completa de los aspectos sociales.

Palabras Clave: Sostenibilidad, Dimensión social, Indicadores, Urbanismo, Alberche y Cofio.

ABSTRACT

Within the typical definition of sustainable development in three dimensions (natural, social and economic), its social aspects are probably the least developed. This study intends to improve the situation through: 1) its brief conceptual analysis of what the components of the social dimension are, and 2) the spatial representation of a system of indicators, capturing the most relevant social aspects. These indicators are derived from urban aspects, measurable either through remote sensing techniques or through secondary data. The study area is part of the Special Protected Area (SPA) nº56 "Holm oak woods of the Alberche and Cofio rivers", in Madrid, Spain.

Four key aspects of sustainable urban form are analysed, at the urban sector level: density, diversity of uses, social diversity and accessibility to green areas. Connections between these elements and the components of the social dimension are explored.

We believe the proposed methodology improves current spatial resolution for social sustainability indicators (commonly characterised at the national or regional level) and constitutes a practical and informative tool, suitable for the integration of social data with those from the natural dimension (generally more quantitative and precise). It is therefore recommended to further develop this type of indicators, in order to achieve a complete representation of all relevant social aspects.

Key Words: Sustainability, Social Dimension, Indicators, Urban form, Alberche and Cofio.

INTRODUCCIÓN

El concepto de desarrollo sostenible se ha convertido en el nuevo paradigma científico y político del siglo XXI. Aunque su definición más popular data de 1987 (Brundtland, 1987), es en la actualidad cuando, coincidiendo con el reconocimiento científico global del proceso de cambio climático (IPCC, 2007), la sostenibilidad asciende a lo más alto de la agenda política internacional y aparecen medidas concretas para hacer realidad sus aspiraciones conceptuales (European Commission, 2007).

Dada la naturaleza holística y compleja del concepto de sostenibilidad (Potschin y Haines-Young, 2006), se suelen emplear diversos indicadores para desagregar este ambicioso objetivo en metas concretas y evaluables (DEFRA, 2007). Dichos indicadores se estructuran en diferentes áreas de atención en función del modelo de sostenibilidad utilizado. La definición más habitual distingue tres dimensiones: natural, social y económica (Potschin and Haines-Young, 2006). La estrategia española de desarrollo sostenible añade una 'dimensión global' que incluye a las tres tradicionales (Gobierno de España, 2007). Por su parte, el Observatorio de la Sostenibilidad, que en 2005 empleaba el modelo tridimensional, incluye en 2006 'Gobernanza' como nueva dimensión, y 'Cultura' en 2007 (OSE, 2007). Este último informe, además, estructura el sistema de indicadores en 10 áreas de atención, según las recomendaciones del grupo de trabajo Eurostat (European Commission, 2007). Éstas son: desarrollo económico, pobreza y exclusión social, mayores, salud pública, cambio climático y energía, modelos de producción y consumo, recursos naturales, transporte, gobernanza y compromisos internacionales. En cualquier caso, las dimensiones de clasificación no son el aspecto más relevante; la novedad del concepto de sostenibilidad no radica tanto en el descubrimiento de variables antes desconocidas como en su nuevo enfoque global y equilibrado, consciente de las múltiples interrelaciones existentes entre los distintos sistemas (Potschin y Haines-Young, 2006). Este estudio parte de la conceptualización más generalizada de sostenibilidad, en tres dimensiones (natural, social y económica), y centra su análisis en la 'dimensión social'.

Los aspectos sociales son probablemente los menos desarrollados en el marco del desarrollo sostenible. Ejemplo de ello es la defensa que hace el Observatorio de la Sostenibilidad (OSE, 2007) de los aspectos culturales, olvidados y marginados en los análisis de sostenibilidad, o la cada vez más intensa reivindicación de los procesos de participación pública (Unión Europea, 2005), o los resultados del último informe de indicadores del Reino Unido, que identifica el "sentimiento de formar parte una comunidad" como el aspecto de bienestar con valores más negativos (DEFRA, 2007, p.120). Para mayor dificultad, los datos procedentes de la realidad social suelen ser más vagos y cualitativos que los que proceden del medio físico, y ello complica la integración de ambos a escalas de detalle (Bosque Sendra et al., 1995).

Actualmente la mayoría de los indicadores de sostenibilidad disponibles se calculan a escala nacional o de comunidad autónoma, y sólo en algunos casos a escala municipal. Sin embargo, la gestión del territorio a menudo requiere un conocimiento de los patrones espaciales con un detalle mayor del que los límites municipales pueden ofrecer. Obtener este tipo de información para los aspectos sociales a menudo supone realizar gran número de encuestas, lo cual tiene un coste elevado, y que aumenta geométricamente conforme se requiere una información más desagregada y detallada del territorio. De ahí la gran ventaja que supondría sustituir estos indicadores, estadísticos, por indicadores territoriales detectables sobre el paisaje (Backhaus et al., 2002).

El estudio de la dimensión natural, cuando se centra en hábitats u otros elementos susceptibles de ser analizados mediante teledetección, obtiene alto nivel de detalle con costes relativamente bajos. En este campo ha hecho grandes avances la disciplina de Ecología del Paisaje. Por el contrario, para los aspectos sociales (a menudo intangibles y abstractos) la utilidad de las técnicas de teledetección no es evidente; ciertamente ni los individuos ni sus complejos procesos psicológicos son identificables mediante fotografía aérea. Sin embargo, sí lo son los "hábitats" en que estos individuos residen, y dada la enorme capacidad de la especie humana para transformar el medio, éstos son detectables de forma especialmente obvia, compleja e informativa.

Este estudio explora las posibilidades de la teledetección para la generación de indicadores de sostenibilidad social, a partir del análisis de tipologías urbanísticas. Concretamente, presenta la aplicación de las variables consideradas en el 'urbanismo sostenible' (Jabareen, 2006) a un área concreta, haciendo especial énfasis en su interpretación desde el punto de vista de la dimensión social.

Combinando datos procedentes de censos y bases de datos, procesados en un Sistema de Información Geográfica y validados e interpretados mediante fotografía aérea, se propone un sencillo sistema de indicadores de sostenibilidad social, aún preliminar e incompleto, pero operativo a escala de sector urbano.

ZONA DE ESTUDIO

Los indicadores propuestos han sido evaluados en 19 municipios del suroeste de la Comunidad de Madrid: Aldea del Fresno, Cadalso de los Vidrios, Cenicientos, Colmenar del Arroyo, Chapinería, Fresnedilas de la Oliva, Navalagamella, Navas del Rey, Pelayos de la Presa, Quijorna, Robledo de Chavela, Rozas de Puerto Real, San Martín de Valdeiglesias, Sevilla La Nueva, Valdemaqueda, Valdemorillo, Villa del Prado, Villamantilla y Villanueva de Perales.

Éste territorio, cuya extensión global es de 83.156 ha (el 10,4% de la Comunidad de Madrid), pertenece en su mayoría a la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) nº 56, “Encinares de los ríos Alberche y Cofio”. Su estudio resulta interesante por la variada ocupación agroforestal del suelo, representativa del paisaje madrileño. Además, está siendo en los últimos años objeto de intensa polémica con motivo del proyecto de desdoblamiento de la carretera M-501, que atraviesa la zona de oeste a este por su parte central. Existe también un proceso de expansión urbanística en la región que, según denuncian algunas organizaciones (Cano, 2004), amenaza con alterar drásticamente sus sistemas naturales.

Por todo ello, esta zona resulta de gran interés para la investigación de nuevas herramientas de resolución de conflictos entre sociedad y medio ambiente.

ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA SOSTENIBILIDAD SOCIAL

La estrategia para un estilo de vida sostenible redactada por PNUMA, UICN and WWF in 1991 (IUCN et al., 1991) define la mejora de la calidad de vida como uno de sus objetivos. Por su parte, la definición incluida en el informe Brundtland (1987) (probablemente la más conocida) describe el desarrollo sostenible como aquel que satisface las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Por tanto, implementar estas definiciones implica, en la práctica, especificar qué determina la calidad de vida o cuáles son las necesidades que deben ser satisfechas.

Maslow (1943) propuso una estructura jerárquica de las necesidades humanas que aún es considerada una teoría consistente sobre calidad de vida (Ventegodt et al., 2003). Estas necesidades se distribuyen en seis niveles, que deben ser saciados progresivamente para alcanzar grados cada vez mayores de bienestar. Estos niveles son: necesidades básicas (o fisiológicas), necesidades de seguridad (o psicológicas), de aceptación social, de autoestima, de autorrealización y, finalmente (según sus últimos trabajos), de trascendencia (Koltko-Rivera, 2006). Siguiendo esta estructura, una sociedad sostenible satisfaría el requisito de aumentar su calidad de vida en la medida en que facilitase la satisfacción progresiva de estas necesidades, hasta alcanzar los niveles más elevados (Clarke et al., 2006, p.934). La satisfacción de este amplio abanico de necesidades, desde las más básicas, de alimento y abrigo, hasta las más espirituales o trascendentales, implica tanto aspectos naturales como económicos y sociales. Esto hace que el reparto de objetivos entre las tres dimensiones no sea sencillo.

En este estudio consideraremos aspectos naturales aquellos que hacen referencia al buen funcionamiento de los ecosistemas y a la continuidad de los bienes y servicios que proporciona la naturaleza. Los servicios ambientales más abstractos, como son la inspiración estética, intelectual o espiritual (de Groot et al., 2003) son en cambio incluidos en la dimensión social. Por su parte, la Economía es la ciencia que analiza la satisfacción de las necesidades humanas con los limitados recursos disponibles (Robbins, 1935, p.16); por tanto, la dimensión económica podría abarcar por sí misma la consecución de toda la jerarquía de Maslow. De hecho, es especialmente complicado separar las dimensiones social y económica (OSE, 2007, p.32). Aquí seguiremos una clasificación frecuente, que distingue los aspectos más “tangibles” (flujo de recursos de materia y energía, distribución

de ingresos...) en la esfera económica y los más “intangibles” (salud, seguridad, educación, capacidad institucional) en la dimensión social (Karlsson et al., 2007).

Así definida, la dimensión social de la sostenibilidad representa el capital intangible: capital humano, capital social y capital institucional (World Bank, 2006, p.4). 'Capital humano' hace referencia a los conocimientos, habilidades y características de las personas (educación, cultura, creatividad, etc.) (OECD, 2001). El 'capital social' comprende el sentimiento de comunidad, las redes de cohesión social, la confianza y la ayuda mutua (Lochner et al., 1999, World Bank, 2006). Finalmente, 'capital institucional' hace referencia al buen funcionamiento del sistema judicial, a la definición clara de derechos y deberes, a la eficacia del gobierno, en definitiva a una buena gobernanza (World Bank, 2006). Estos tres tipos de capital presentan interacciones y sinergias entre sí (OECD, 2001), al igual que con las dimensiones natural y económica, pero forman un dominio conceptual con entidad suficiente, una 'dimensión social' que debe ser específicamente analizada y considerada en la toma de decisiones de gestión.

RELACIÓN ENTRE URBANISMO Y ASPECTOS SOCIALES

Se explora aquí el análisis de aspectos urbanísticos para la caracterización de la sostenibilidad social, como alternativa al uso de encuestas, por tres motivos principales: (1) existe abundante literatura sobre la influencia del urbanismo en la calidad de vida (Williams et al., 2000), (2) muchos aspectos urbanísticos son observables directamente y caracterizables mediante métodos de teledetección, permitiendo mejor definición espacial a menor coste, y (3) existe una tradición de estudio y análisis de los municipios (como el censo de población y vivienda empleado en este estudio) que genera información abundante y susceptible de ser reinterpretada desde el punto de vista de la sostenibilidad.

El debate sobre 'tipologías urbanísticas sostenibles' se centra fundamentalmente en siete aspectos: continuidad y conectividad, transporte, densidad, diversidad de usos, diversidad social, aprovechamiento de la energía solar y presencia de zonas verdes (Jabareen, 2006). De ellos, en este estudio se analizan cuatro: densidad, diversidad de usos, diversidad social y acceso a zonas verdes y de deporte. Indirectamente, se consideran también aspectos de continuidad y conectividad, puesto que el indicador de diversidad de usos mide el número de establecimientos accesibles caminando (por tipo). Entre los dos factores no evaluados, el transporte ha sido descartado por depender en gran medida de los factores anteriores, y el aprovechamiento de la energía solar por requerir un análisis de gran detalle, considerando orientaciones de edificios y vías, anchura de calles, materiales y sistemas de aislamiento, etc., que escapaba a las posibilidades de este estudio.

Se ha estudiado la densidad por ser probablemente el aspecto que más atención recibe en lo que respecta a la sostenibilidad de pueblos y ciudades. Concentrar la población reduce la destrucción de hábitats y la necesidad de recursos, facilita la introducción de nuevas tecnologías y hace a las comunidades económicamente más ricas, viables y atractivas (Newton en Williams et al., 2000). También puede, en algunos casos, mejorar los contactos sociales y la sensación de seguridad (Masnavi en Williams et al., 2000). Indudablemente, el aumento de la densidad produce también efectos negativos, como el aumento de la contaminación, el tráfico o la conflictividad entre vecinos. Sin embargo, dadas las bajas densidades presentes en la zona de estudio (el sector medio tiene 18 hab/ha), muy lejanas a los 300 hab/ha considerados por Newton en su modelo de ciudad compacta (Newton en Williams et al., 2000, p.50) e incluso al valor orientativo de 60-80 hab/ha utilizado por Frey en modelos urbanos sostenibles (Frey, 1999), se ha considerado que los valores más altos son siempre los más deseables, para todo el rango de densidades presente en la zona de estudio.

Por su parte, la no segregación de usos del suelo y el mantenimiento de diversidad de actividades reduce la necesidad de transporte, aumenta la igualdad social, libera tiempo para las relaciones sociales y potencia el desplazamiento a pie (Williams et al., 2000, p.352), que a su vez potencia también la interacción con los demás miembros de la comunidad.

La diversidad social es otro elemento típicamente relacionado con la sostenibilidad, en diferentes aspectos:

principalmente porque reduce las consecuencias problemáticas derivadas de la segregación y concentración de grupos marginales, pero también porque mejora el número y variedad de oportunidades que la comunidad ofrece y facilita la continuidad en la provisión de servicios (Tunstall and Fenton, 2006). Considerando la jerarquía de Maslow (1943), atiende a la necesidad humana de aceptación y cohesión social (Frey, 1999, p.33). La heterogeneidad puede también generar dificultades y tensiones internas (Hudson et al., 2007), y por ello resulta crucial que la proximidad física entre grupos sociales que este estudio mide se traduzca en verdadera interacción (Hudson et al., 2007), lo que se conoce como componente *'bridging'* del capital social. Sin embargo, la diversidad social se ha considerado, en conjunto, deseable (Montero, 2007; Tunstall and Fenton, 2006), potenciadora de aspectos de capital social (tales como cohesión, confianza y seguridad) y de capital cultural (fomentando la vitalidad, riqueza cultural y creatividad artística de la comunidad) (Stern and Seifert, 1998).

El acceso a zonas verdes está también asociado a múltiples efectos positivos para la dimensión social. Además de ser espacios para el ejercicio físico y la relajación, con importantes beneficios para la salud física y mental (Pretty et al., 2007), son lugares de encuentro e interacción social, y pueden tener incluso un importante componente trascendental y espiritual (Dudley et al., 2005).

En definitiva, los cuatro aspectos urbanísticos analizados presentan interacciones con los componentes de capital social y cultural que pueden permitir su empleo como indicadores, parciales al menos, de los niveles de ambos aspectos en la dimensión social. El capital institucional es, sin embargo, el peor representado. Podría buscarse alguna relación entre la estructura más o menos planificada de los desarrollos urbanísticos y los niveles de capital institucional, pero dicha conexión no ha sido explorada en este estudio.

METODOLOGÍA PARA LA REPRESENTACIÓN ESPACIAL DEL SISTEMA DE INDICADORES

Se han diseñado cuatro indicadores parciales, uno para cada aspecto urbanístico a analizar: densidad, diversidad social, diversidad de usos y accesibilidad a zonas verdes. El valor de estos indicadores se ha calculado para los sectores urbanos de los 19 municipios de la zona de estudio (en total 226 sectores, una vez excluidos aquellos cuya densidad de población era inferior a 1hab/ha, por considerarse deshabitados). Los valores de los indicadores parciales se han integrado en un indicador global, propuesto como aproximación para la cuantificación de la sostenibilidad social del territorio. A continuación, se describe el proceso de caracterización de cada uno de ellos.

Densidad de población

A partir del mapa de sectores urbanos del año 2001 (elaborado por el Departamento de Estadística de la Consejería de Economía y facilitado por el Instituto de Salud Pública de la Comunidad de Madrid) y mediante un Sistema de Información Geográfica (GRASS Development Team, 2006), se ha calculado la superficie de cada sector censal. A continuación, utilizando el total de población por sector, recogido en el apartado de edad del Censo de Población y Viviendas del 2001 (facilitado por el Departamento de Estadística de la Consejería de Economía de la Comunidad de Madrid), se ha calculado el cociente población/superficie.

Diversidad social

Partiendo también del Censo de Población y Viviendas del 2001, se ha estimado la diversidad de la población residente en cada sector urbano respecto a cuatro aspectos: clase de edad, nacionalidad, nivel de estudios y situación profesional.

Respecto a edad se han establecido 5 clases, con amplitud de 20 años cada una (excepto la última, que recoge a todos los mayores de 80 años). Se ha utilizado como indicador el índice de diversidad de Simpson (Simpson, 1949), con el fin de valorar el número de clases representadas en cada sector y el equilibrio entre ellas pero no la abundancia de individuos por clase (dada la disparidad en tamaño de los distintos sectores).

Este índice toma valores entre 0 y 1, donde 0 corresponde a una población homogénea (una única clase) y 1 a una población con infinitas clases y con todas ellas igualmente representadas.

$$\text{Índice de diversidad de Simpson} = 1 - D = \frac{\sum [n_i \cdot (n_i - 1)]}{N \cdot (N - 1)}$$

Ecuación 1. Índice empleado en el cálculo del indicador de diversidad, donde n_i representa el número de elementos en la categoría i y N el número total de elementos entre todas las categorías (Simpson, 1949).

También se ha calculado la edad media de la población en cada sector, a partir de los datos por clases de edad con amplitud de 1 año. A los individuos de cada clase se les ha aplicado la edad correspondiente a la mitad del intervalo (por ejemplo, 20,5 para el intervalo de 20 a 21 años). El dato de edad media en cada sector no se ha incluido en el indicador parcial, pero sí se ha empleado en el análisis de resultados.

Con respecto a nacionalidad, se ha calculado igualmente el índice de diversidad de Simpson con las siguientes categorías de procedencia: España, Unión Europea de 15 estados, resto de Europa, África, América del Norte, América Central y del Caribe, América del Sur, Asia, Oceanía y apátridas.

Para evaluar el nivel de estudios se ha calculado el nivel medio por sector y el correspondiente índice de diversidad de Simpson. Las categorías utilizadas han sido: no lee (0), lee (0,17), graduado escolar, bachillerato elemental (0,43), ESO (0,52), bachillerato superior (0,61), formación profesional de grado medio (0,52), formación profesional de grado superior (0,61), diplomatura (0,74), licenciatura (0,83) y doctorado (1). El valor entre paréntesis es el peso adjudicado a cada categoría para el cálculo del nivel medio de estudios por sector (utilizado en el análisis de resultados aunque no en el indicador). Este peso se corresponde con el número mínimo de años de estudio necesarios para alcanzar la cualificación correspondiente (por ejemplo: 12 años para ESO y 23 años para doctorado) estandarizado a un intervalo entre 0 y 1.

Por último, se ha valorado también la diversidad de la población con respecto a su situación profesional, según las categorías: empresario que emplea personal, empresario que no emplea personal, asalariado con carácter fijo y asalariado con carácter eventual. Las categorías ayuda familiar y miembro de cooperativas no se han utilizado debido a la dificultad para ordenarlas en una escala aproximada de estabilidad laboral y retribución. De todos modos, las categorías eliminadas representan, en conjunto, una proporción muy pequeña de la población, que en el 95% de los casos es inferior al 5% y nunca supera el 16% de la población del sector. Para el cálculo del 'nivel profesional medio' (igualmente empleado en el análisis de resultados aunque no en el indicador), los pesos asignados a las categorías seleccionadas han sido: empresario que emplea personal: 1; empresario que no emplea personal: 0,75; asalariado con carácter fijo: 0,50; y asalariado con carácter eventual: 0,25. Por tanto, el valor final queda también comprendido entre 0 y 1.

El indicador parcial de diversidad social toma su valor de la suma de los índices de Simpson para los cuatro aspectos analizados.

Diversidad de usos

La diversidad de usos en las áreas urbanas de la zona de estudio se ha valorado combinando el mapa de sectores urbanos del año 2001 con los datos del directorio de establecimientos (código CNAE) facilitados por la Comunidad de Madrid, actualizados a diciembre de 1999. A partir de ambas capas se ha calculado el número medio de establecimientos a los que se pueden desplazar caminando los residentes de cada sector urbano (por categorías).

El directorio de establecimientos contenía 1115 registros georeferenciados dentro del área del estudio. Éstos han sido clasificados en 4 categorías: (1) comercio al por menor, al por mayor y servicios personales (códigos CNAE 50, 51, 52 y 93), (2) ocio, incluyendo restaurantes y establecimientos de bebidas, y actividades asociativas, recreativas, culturales y deportivas (códigos 553, 554, 91 y 92), (3) servicios, incluyendo educación, actividades sanitarias, servicios sociales y comedores colectivos (códigos 555, 80 y 85) y (4) actividades industriales, incluyendo agricultura, pesca, minería, fabricación, producción de energía, construcción, hoteles, transporte, limpieza, etc. (resto de códigos). El número de establecimientos registrados por categoría era de 377, 432, 222 y 48, respectivamente, para el total del área de estudio. Sin embargo, sólo se han incluido en el análisis las categorías de comercio y ocio, por considerarse las más relevantes en cuanto a accesibilidad a pie en un área de estudio rural. En un futuro se estudiará la inclusión del resto de categorías.

No existe en la literatura científica una distancia umbral bien definida para la accesibilidad a pie (Waddell et al., 2007, p.401). Los valores barajados oscilan, en general, entre 300 y 1600 m, dependiendo del lugar geográfico, el objetivo y la edad del individuo. En tiempo, un referente común son los 15 minutos caminando, que representan unos 900 m de distancia recorrida (Barbosa et al., 2007). Por ello, en este estudio se ha seleccionado un radio de 600 m en torno a la vivienda para determinar la zona de accesibilidad a pie. Este valor está en línea con otros estudios (Waddell et al., 2007, p.401) y, considerando que el entramado de calles raramente permitirá un acceso en línea recta, equivale a 850 metros en distancia de Manhattan, valor próximo al de los 15 minutos de referencia.

En cada sector urbano se ha definido una malla cuadrada de puntos, separados 50 m entre sí (en dirección norte-sur y este-oeste), que representan a los habitantes de dicho sector. Para cada uno de estos puntos se ha computado, combinando un SIG (GRASS Development Team, 2006) y un programa de cálculo (R Development Core Team, 2007), el número de establecimientos en un radio de 600 m. Finalmente, se ha calculado el número medio de establecimientos accesibles (por categoría) para el conjunto de puntos contenidos en un sector.

Accesibilidad a zonas verdes y de deporte

La accesibilidad a zonas verdes y de deporte se ha calculado con un procedimiento similar al empleado para el índice de diversidad de usos, midiendo la distancia (mínima) media de los habitantes de cada sector urbano a dichas zonas recreativas. Se ha empleado en este caso un mapa de calificación del suelo de 1996 (facilitado por el Servicio Cartográfico Regional de la Comunidad de Madrid) en el que se han seleccionado las categorías “verde público” y “deportivo”. Además, se ha exigido que las áreas seleccionadas tengan un tamaño mínimo de 2 ha. Aunque la elección de este valor ha sido arbitraria, se ha considerado importante que las áreas verdes incluidas tuvieran un cierto tamaño mínimo para producir los beneficios esperados de contacto con la naturaleza, ejercicio físico, relajación, reducción de la contaminación, sentimiento de orgullo con el lugar de residencia, etc. Mediante SIG se ha transformado el perímetro de estas áreas verdes en líneas de puntos, separados un máximo de 50 m entre sí.

También se ha incluido como zona verde todo el espacio no urbanizado exterior a los municipios. Para ello se ha definido también un línea de puntos recorriendo el perímetro del suelo urbano y la nueva capa así generada se ha fusionado con la procedente del mapa de calificación.

Finalmente, se ha calculado la distancia mínima desde cada uno de los “puntos-habitante” de la red interior de sectores urbanos a los “puntos-frontera” situados en el perímetro de las zonas verdes. El valor final para cada sector urbano se corresponde con el valor medio de estas distancias para sus puntos interiores.

Propuesta de indicador global de sostenibilidad social

El indicador global se ha calculado por adición de los cuatro indicadores parciales anteriores. Para densidad de población, diversidad social y diversidad de usos del territorio los valores se han considerado más deseables cuanto más elevados. En el caso de distancia a zonas verdes y deportivas la dirección de incremento del

indicador se ha invertido, de forma que cuanto menor es la distancia más alto es el valor del mismo.

Los cuatro indicadores parciales han sido estandarizados a un rango entre 0 y 1, con el fin de poderlos sumar respetando un peso del 25% para cada uno de ellos. Además, teniendo en cuenta que no se han utilizado niveles absolutos sino relativos (basados en los “mejores” y “peores” valores presentes en la zona de estudio), como paso previo a la estandarización se redujo la influencia de los valores extremos, con el fin de evitar que valores anormalmente altos o bajos distorsionasen las puntuaciones del conjunto y mermasen la relevancia de algún indicador parcial. Para ello se establecieron umbrales para la estandarización de cada indicador basados en su valor medio más/menos el doble de la desviación estándar. De este modo, todos los sectores con valores superiores a la media más dos veces la desviación estándar recibieron una puntuación final de 1 (en el indicador correspondiente), y todos aquellos con valores inferiores a la media menos dos veces la desviación estándar recibieron una puntuación de 0. El resto obtuvieron puntuaciones intermedias, calculadas dividiendo la diferencia entre su valor y el umbral inferior por la diferencia entre los umbrales superior e inferior. En el caso del indicador de diversidad de usos, este procedimiento se aplicó tanto a la media de establecimientos de ocio como a la de comercios; posteriormente se sumaron ambas puntuaciones y el resultado se dividió por dos, obteniéndose el valor de este indicador parcial, también en un intervalo entre 0 y 1.

Caracterización de la tipología urbanística

Todos los sectores urbanos estudiados han sido caracterizados según la tipología urbanística indicada en el Nomenclátor de la Comunidad de Madrid (Nomecalles, en línea). Respecto a este aspecto, se presentan resultados para las tipologías de casco antiguo, unifamiliar en hilera o adosados y unifamiliar aislada (figura 1), por ser las mejor representadas (en conjunto constituyen el 85% de la muestra). El objetivo de su análisis es determinar si se aprecian diferencias entre tipos en los niveles de sostenibilidad y, de ser así, qué tipologías son más sostenibles desde el punto de vista social.

RESULTADOS

Las densidades de población en el área de estudio son, en general, bajas. La media es de tan sólo 18 hab/ha, debido al elevado número de viviendas unifamiliares aisladas (cuya densidad media es de 9,6 hab/ha), que representan el 62% de los sectores muestreados. Las densidades medias en casco antiguo son de 39,2 hab/ha, mientras que en los sectores de unifamiliar adosadas es de 28,74 hab/ha. Las densidades que han recibido la máxima puntuación en el indicador correspondiente comprenden entre 65 y 118 hab/ha, y ocurren únicamente en 15 sectores. La mayoría de éstos son de casco antiguo, aunque aparecen algunos casos excepcionales de sectores con viviendas unifamiliares en hilera o incluso aisladas (ver figura 4).

La accesibilidad a comercios y zonas de ocio es también escasa (figura 1). La media para los habitantes de la zona es de 15,8 comercios y 7,8 locales de ocio en un radio de 600 m de su residencia. Sin embargo, el 19% de los sectores muestreados no tiene acceso caminando a ninguno de los establecimientos incluidos en el directorio (nótese que el registro incluía establecimientos en todos los municipios de la zona). El 84% de éstos son viviendas unifamiliares aisladas, el 7% unifamiliares adosadas, y el 9% restante otras tipologías no clasificadas. Por su parte, la figura 1 muestra la alta correlación ($r=0,965$) entre la componente de comercios y la de locales de ocio del indicador, lo que significa que ambos tipos de establecimientos se distribuyen de forma similar en el área de estudio. Las puntuaciones máximas se han alcanzado con valores superiores a 58 comercios y 39 centros de ocio en un radio de 600 m.

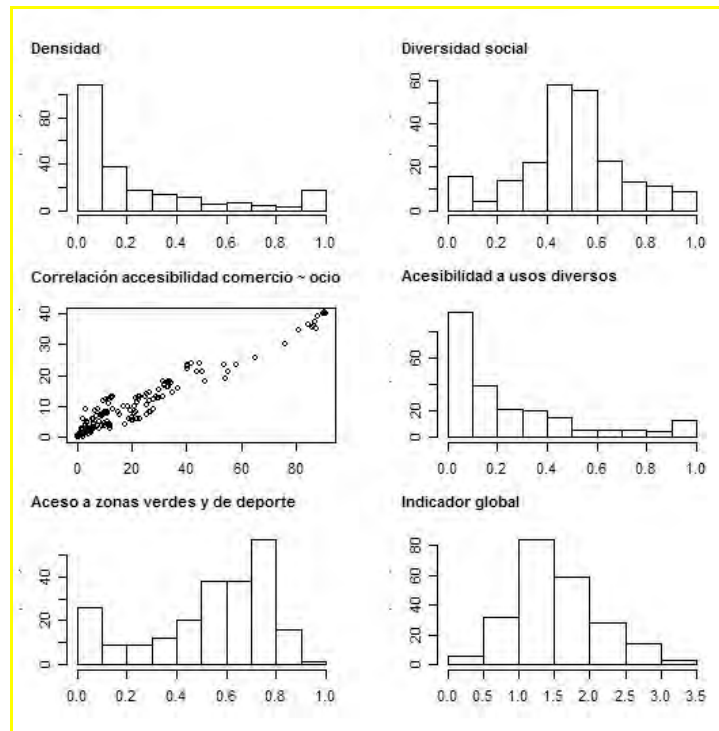


Figura 1. Distribución de valores de los indicadores en el conjunto del área de estudio (eje horizontal: valor del indicador; eje vertical: frecuencia. En el cuadro de correlación: eje horizontal: número medio de comercios en un radio de 600 m, por sector, eje vertical: número de medio de establecimientos de ocio en un radio de 600 m, por sector; coeficiente de correlación de Pearson: 0,965).

En lo que respecta a diversidad social, ésta tiene un comportamiento complejo. En cuanto a procedencia, el porcentaje medio de extranjeros en la zona es de 7,7%, muy por encima del 2,7% de media nacional en 2001. Sin embargo, la distribución de los extranjeros es irregular, con una decena de sectores en los que representan más del 25%. Estos sectores tienen índices de Simpson entre 0,40 y 0,60; la inmensa mayoría de los demás, aun con valores por encima de la media nacional, presentan índices de Simpson inferiores a 0,1. La diversidad en educación, por su parte, es alta y homogénea, el 90% de los sectores con índices de Simpson entre 0,7 y 0,9. En el 80% de los sectores el nivel educativo medio oscila entre 0,4 y 0,6 (entre graduado escolar y bachillerato superior). La diversidad de edades tiene un comportamiento casi idéntico al de la diversidad de educación, con un 88% de los índices de Simpson entre 0,65 y 0,80. La edad media por sector es de 40 años. Por último, la diversidad de profesiones presenta valores intermedios, entre 0,5 y 0,8 en el 85% de los casos. Predominan los asalariados de carácter fijo. En resumen, en este indicador parcial pesan poco los aspectos de procedencia. Sin embargo, como no existe gran disparidad entre sectores en ningún aspecto, el indicador de diversidad social discrimina poco, y ofrece en general valores medios (ver figura 1).

La distancia a zonas verdes y deportivas es muy baja en todos los casos, con 86 m como valor medio por sector, y 260 m como valor más alto. Sin embargo, dentro de este rango, los valores varían mucho entre sectores (ver figura 1).

En resumen, los indicadores muestran que la situación de sostenibilidad social en la zona de estudio es bastante mejorable (ver las puntuaciones del indicador global en figura 4), fundamentalmente en lo que respecta a densidad de población y accesibilidad a pie a establecimientos comerciales y de ocio.

Por tipologías (figura 2), los valores globales más altos se encuentran en las zonas casco antiguo, precisamente por su mayor densidad y mayor diversidad de usos. Las diferencias entre casco antiguo (A) y viviendas

unifamiliares adosadas (B) no son sin embargo muy notables, sobre todo en sus valores medios. Los sectores de viviendas unifamiliares aisladas sí presentan valores finales notablemente más bajos, aunque existen un pequeño número de excepciones (*outliers*).

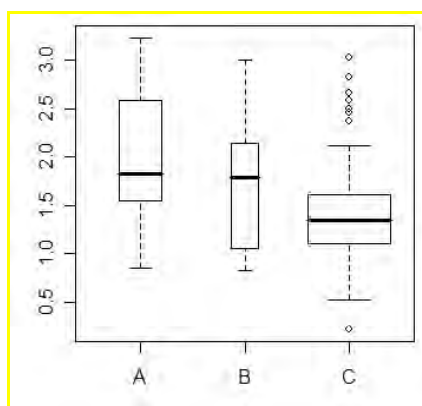


Figura 2. Distribución de valores del indicador global de sostenibilidad social por tipologías urbanísticas (A–casco antiguo; B-Vivienda unifamiliar en hilera o adosados; C-Vivienda unifamiliar aislada o pareados). La anchura de las cajas es proporcional al número de casos en la muestra. Fuente: elaboración propia a partir del Censo de Población y Viviendas de 2001 y cartografía facilitada por el Departamento de Estadística de la Comunidad de Madrid.

En el ejemplo de distribución (figura 3) puede verse como los sectores centrales presentan una composición más equilibrada en los cuatro indicadores y mayores valores del indicador global, mientras que los valores de sostenibilidad se hacen más bajos conforme nos desplazamos hacia la periferia. Sin embargo, entre sectores de la misma tipología y similar distancia al centro, aun existen ciertas diferencias, en función sobre todo de los otros dos factores (diversidad social y acceso a zonas verdes).

En la figura 4 se muestran algunos ejemplos de los sectores urbanos caracterizados, tres de ellos con altas puntuaciones en el indicador global de sostenibilidad social y uno con puntuaciones muy bajas. El sector de la esquina *superior izquierda* corresponde a tipología de casco antiguo en uno de los municipios más poblados de la zona, por lo que tiene acceso a gran número de establecimientos de todo tipo. Su diversidad social es media y, a pesar de presentar una gran zona abierta en el interior, sigue obteniendo valores elevados de densidad. Además, aunque está en la zona central del núcleo urbano, limita con un parque en la parte superior (la zona abierta interior no ha sido catalogada como tal), por lo que su distancia a zonas verdes es pequeña. En definitiva, presenta uno de los valores de sostenibilidad más elevados, según el sistema de indicadores propuesto. En la esquina *superior derecha* se muestra un sector similar al anterior, pero de viviendas unifamiliares en hilera. Situado entre el casco antiguo y el límite exterior, goza de buena accesibilidad tanto a los establecimientos del centro como al campo abierto periférico. Su densidad es bastante elevada, y su diversidad social media. La esquina *inferior izquierda* muestra uno de los pocos sectores catalogados como de vivienda unifamiliar aislada pero que, sin embargo, mantienen altos valores de densidad. Goza de buen acceso a comercios y establecimientos de ocio y su única desventaja es que limita con el campo abierto periférico únicamente en una pequeña sección, por lo que su puntuación en accesibilidad media a zona verde es algo inferior. Por último, el sector de la esquina *inferior derecha* tiene una de las peores puntuaciones de la región. Ubicado en un municipio de pequeño tamaño, la accesibilidad a comercios y centros de ocio es reducida. Su situación en el interior del municipio provoca una accesibilidad a zonas verdes baja, pero al mismo tiempo su tipología urbanística es de vivienda unifamiliar aislada, con muy baja densidad. La diversidad social es baja, pero comparativamente es el componente que más contribuye a su puntuación final.

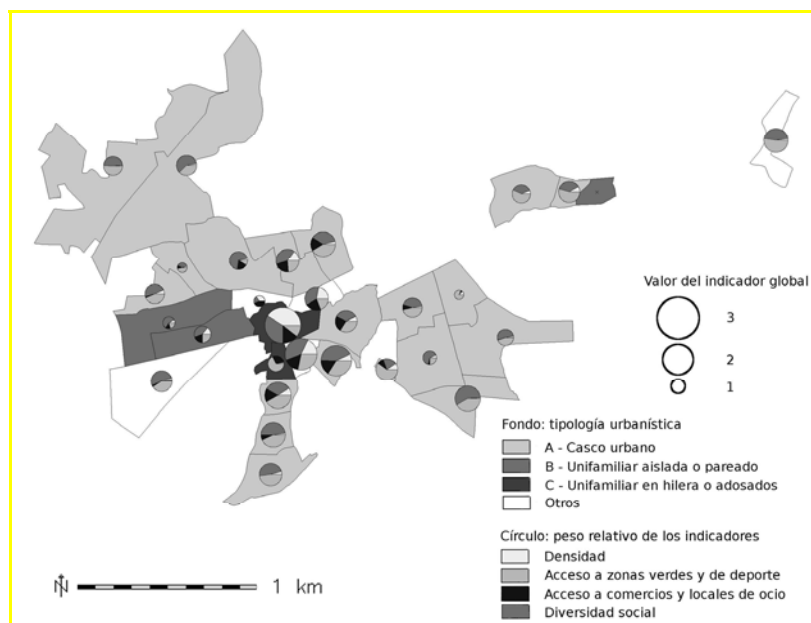


Figura 3. Ejemplo de distribución espacial de los indicadores: valor del indicador global de sostenibilidad social y contribución de los indicadores parciales, por sector urbano, en uno de los municipios del área de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir del Censo de Población y Viviendas de 2001 y cartografía facilitada por el Departamento de Estadística de la Comunidad de Madrid.

DISCUSIÓN

Este estudio lleva a la práctica el análisis de los conceptos destacados en el debate académico sobre urbanismo sostenible (Jabareen, 2006; Williams et al, 2000), de forma conjunta y sobre un territorio concreto. Como resultado, se acerca el estudio de la sostenibilidad social al territorio y se supera la barrera del municipio.

Los valores generados en los indicadores se ajustan bien al modelo conceptual de urbanismo sostenible compacto y diverso, favoreciendo los cascos antiguos sobre crecimientos dispersos y pobres en servicios. Sin embargo, también revelan excepciones y matices difícilmente perceptibles de otra manera. Ejemplo de esto son los sectores con altas puntuaciones destacados en la figura 4, que aun perteneciendo a tipologías diferentes, alcanzan un interesante equilibrio entre los cuatro factores urbanísticos analizados.

La metodología propuesta supone una primera aproximación a la representación espacial de la sostenibilidad social, obviamente aun con múltiples deficiencias. En lo técnico, los pesos de los cuatro aspectos integrados en 'diversidad social' deben ser revisados, y convendría incorporar al sistema de indicadores los valores totales medios para dichos aspectos (como por ejemplo los niveles medios de educación), que aportarían una información diferente a la ofrecida por los índices de diversidad. En un futuro se estudiará extender la valoración realizada de diversidad de usos a otros sectores de actividad, cuantificando por ejemplo la oferta de empleo. Además, el indicador de proximidad a zonas verdes se beneficiaría de un análisis de la calidad y accesibilidad real de las áreas incluidas en el análisis y no únicamente de su distancia al sector urbano. Merece mayor atención también la dimensión institucional de la sostenibilidad social, no incluida en este estudio. Sin embargo, quizá donde más camino queda por recorrer es en lo teórico. Es necesario conocer con mayor claridad la relación entre aspectos urbanísticos y calidad de vida, área en la que los recientes estudios en felicidad subjetiva quizá puedan arrojar algo de luz; y sería conveniente también disponer de valores absolutos de referencia, con todas las particularidades y adaptaciones locales que se desee, pero con los que sea posible comparar los valores obtenidos en los indicadores.

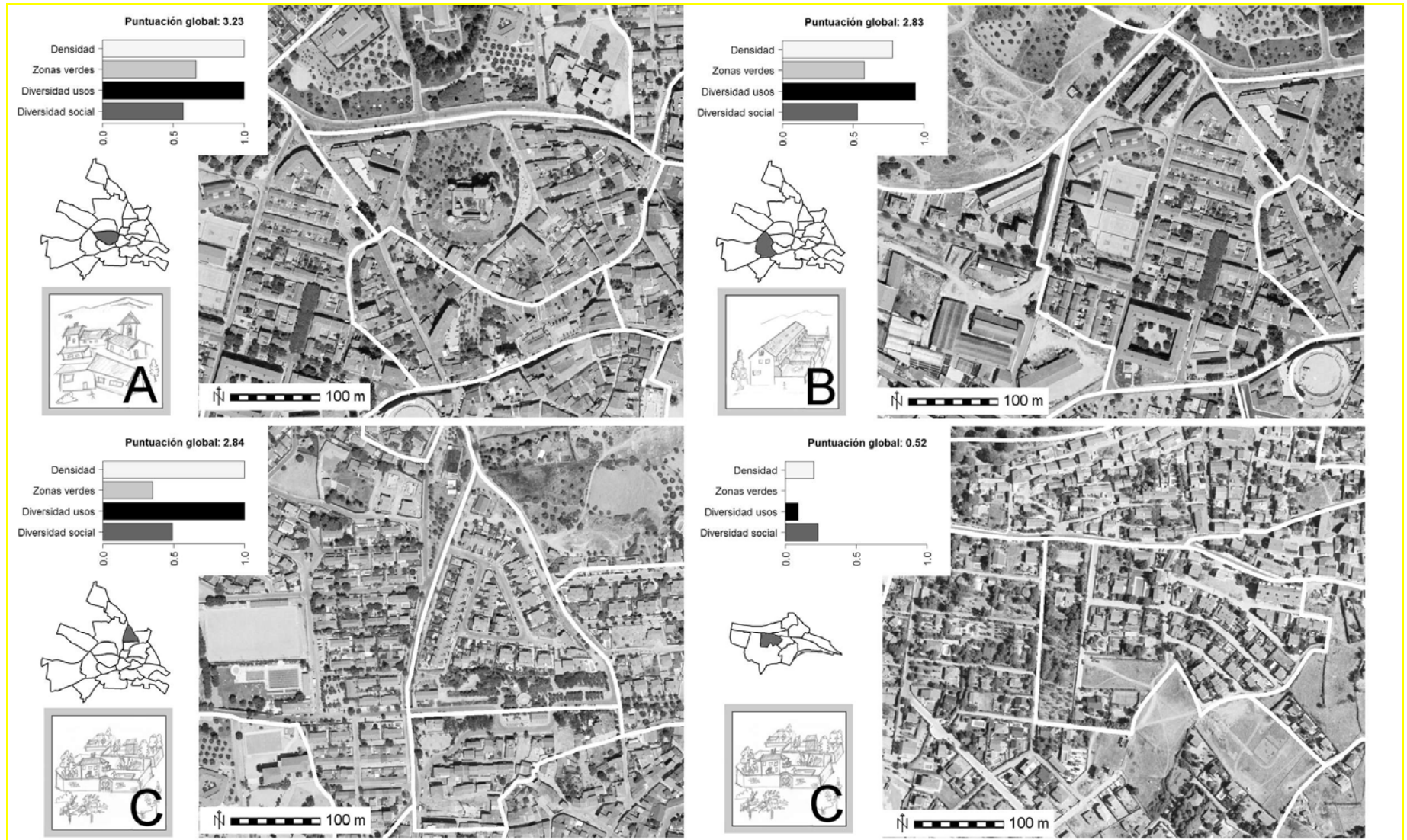


Figura 4. Ejemplos de sectores urbanos de la zona de estudio: puntuaciones en el sistema de indicadores propuesto, ubicación en el municipio, tipología urbana (ver leyenda de figura 3) y foto aérea. Fuente: elaboración propia a partir del Censo de Población y Viviendas de 2001 y cartografía facilitada por el Departamento de Estadística de la Comunidad de Madrid. Fotos aéreas facilitadas por la Dirección General de Medio Natural de la Comunidad de Madrid.

En este estudio se ha suplido esta falta de niveles de referencia mediante la comparación de los valores alcanzados en unos sectores y otros. Esto tiene la ventaja de considerar, de manera indirecta, las particularidades locales de cada área de estudio; sin embargo, sería conveniente conocer, por ejemplo, a partir de qué niveles de densidad o de diversidad social los efectos netos sobre la sostenibilidad empiezan a ser negativos. Estos aspectos han sido y son objeto de debate en la literatura científica (Burton y Masnavi en Williams et al, 2000; Frey, 1999) y cuando su investigación se materialice en umbrales concretos, se podrán ajustar mucho mejor las curvas de interpretación de los indicadores.

CONCLUSIONES

La zona de estudio presenta valores del indicador global de sostenibilidad social medios-bajos. Respecto a diversidad social, los niveles son medios-altos, bien repartidos, lo que supone un importante potencial a explotar para promover su capital social y cultural. Por otra parte, el reducido tamaño de muchos municipios dificulta el acceso a una variedad de sectores económicos, pero permite una gran proximidad con la naturaleza. Conviene por tanto analizar la calidad y accesibilidad real de las zonas verdes en la zona, pues representan una fortaleza local para promover la calidad de vida. La densidad de población, por el contrario, es en general muy baja y supone una debilidad del área de estudio con respecto a los objetivos de sostenibilidad.

El sistema de indicadores propuesto ha producido resultados en la práctica totalidad de los sectores urbanos estudiados, a bajo coste y generando información útil. Es necesario, sin embargo, completar este sistema, para cubrir todos los aspectos clasificados dentro de la 'dimensión social', y seguir avanzando en el conocimiento de relaciones causales y premisas teóricas que permitan mayor confianza en la interpretación de los resultados.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido realizada gracias a una beca del programa FPU y está integrada en el proyecto SIMURBAN (referencia SEJ2007-66608-C04-00/GEOG, subproyectos 01 y 04). Ambas figuras son financiadas por el Ministerio de Educación y Ciencia de España.

REFERENCIAS

- Backhaus, R., Bock, M. y Weiers, S. (2002): The Spatial Dimension of Landscape Sustainability. *Environment, Development and Sustainability*, 4: 237-251.
- Barbosa, O., Tratalos, J. A., Armsworth, P. R., Davies, R. G., Fuller, R. A., Johnson, P. y Gaston, K. J. (2007): Who benefits from access to green space? *Landscape and Urban Planning*, 8: 187-195.
- Bosque Sendra, J., Díaz Muñoz, M. A., Escobar Martínez, F. J. y Salado García, M. J. (1995): La información en Geografía humana. Algunos problemas de su tratamiento con un sistema de información geográfica (SIG). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 15: 141-155.
- Brundtland, G. H. (1987): *Our Common Future*. World Commission on Environment and Development. Disponible en: <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm>, [Acceso: 4 Junio 2008]
- Cano, L. S. (2004): *M-501, La carretera de los pantanos*. Ecologistas en Acción, Madrid. http://www.ecologistasenaccion.org/article.php3?id_article=840 [Acceso: 30 Mayo 2008]

- Clarke, M., Islam, S. M. N. y Paech, S. (2006): Measuring Australia's well-being using hierarchical needs. *Journal of Socio-Economics*, 35: 933-945.
- De Groot, R. S., Mathew, A. W. y Roelof, M. J. B. (2003): A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41: 393-408.
- DEFRA. (2007): *Sustainable development indicators in your pocket 2007*. London. <http://www.sustainable-development.gov.uk/progress/data-resources/sdiyp.htm> [Acceso: 4 Junio 2008]
- Dudley, N., Higgins-Zogib, L. y Mansourian, S. (2005): *Beyond belief: linking faith and protected areas to support biodiversity conservation*. WWF, UK, pp. 144.
- European Commission. (2007): *Measuring progress towards a more sustainable Europe*. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-68-05-551-EN.pdf [Acceso: 4 Junio 2008].
- Frey, H. (1999): *Designing the City: Towards a More Sustainable Urban Form*. E&FN Spon, UK, 143 pp.
- Gobierno de España (2007): *Estrategia Española de Desarrollo Sostenible*. Ministerio de la Presidencia, 19 pp.
- GRASS Development Team (2006): *Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software*. ITC-irst, Trento, Italy. <http://grass.itc.it> [Acceso: 4 Junio 2008].
- Hudson, M., Phillips, J., Ray, K. y Barnes, H. (2007): *Social cohesion in diverse communities*. Joseph Rowntree Foundation. <http://www.jrf.org.uk/bookshop/details.asp?pubID=887> [Acceso: 4 Junio 2008].
- IPCC (2007): Summary for policy makers. En: *Climate change 2007: the physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom y Nueva York, NY, USA.
- IUCN, UNEP y WWF (1991): *Caring for the Earth: A Strategy for Sustainable Living*. Switzerland. <http://coombs.anu.edu.au/~vern/caring/caring.html> [Acceso: 1 Septiembre 2007]
- Jabareen, Y. R. (2006): Sustainable Urban Forms: Their Typologies, Models, and Concepts. *Journal of Planning Education and Research*, 26: 38.
- Jeannotte, M. S. (2003): Singing alone? The contribution of cultural capital to social cohesion and sustainable communities. *International Journal of Cultural Policy*, 9: 35-49.
- Karlsson, S., Dahl, A. L., Biggs, R., Brink, B. J. E., Gutiérrez-Espeleta, E., Hassan, M. N., Laumann, G., Moldan, B., Singh, A., Spangenberg, J. H. y Stanners, D. (2007): Meeting conceptual challenges, en Hak, T., Moldan, B. y Dahl, A. L., (eds.), *Sustainability indicators: a scientific assessment*. Scientific Committee on Problems of the Environment.
- Koltko-Rivera, M. E. (2006): Rediscovering the Later Version of Maslow's Hierarchy of Needs: Self-Transcendence and Opportunities for Theory, Research, and Unification. *Review of General Psychology*, 10: 302-317.

- Lochner, K., Kawachi, I. y Kennedy, B. P. (1999): Social capital: a guide to its measurement. *Health & Place*, 5: 259-270.
- Maslow, A. H. (1943), A Theory of Human Motivation. *Psychological Review*, 50: 370-396.
- Montero, J. (2007): *Grasping the intangible capital of sustainable communities*. Tesis de Máster, Centre for Environmental Policy, Imperial College London, UK.
- Nomecalles (en línea): Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid. http://gestionamadrid.org/nomecalles_inter/Inicio.icm [Acceso: 3 junio 2008].
- OECD (2001): Summary of *The Well-Being of Nations: The Role of Human and Social Capital*. <http://www.oecd.org/dataoecd/24/51/2671078.pdf> [Acceso: 4 Junio 2008]
- OSE (2007): *Sostenibilidad en España*, Observatorio de la Sostenibilidad en España, Mundi Prensa Libros S.A., Madrid. 512 pp.
- Potschin, M. y Haines-Young, R. (2006): "Rio+10", sustainability science and Landscape Ecology. *Landscape and Urban Planning*, 75: 162-174.
- Pretty, J., Peacock, J., Hine, R., Sellens, M., South, N. y Griffin, M. (2007): Green exercise in the UK countryside: Effects on health and psychological well-being, and implications for policy and planning. *Journal of Environmental Planning and Management*, 50: 211 - 231.
- R Development Core Team (2007): *R: A language and environment for statistical computing, reference index version 2.6.1*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org> [Acceso: 3 junio 2008].
- Robbins, L. (1935): *An Essay on the Nature and Significance of Economic Science*. MacMillan & co., London.
- Simpson, E. H. (1949): Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688.
- Stern, M. y Seifert, S. (1998): Working paper 8: Community Revitalization and the Arts in Philadelphia, *Social Impact of the Arts Project*, University of Pennsylvania. <http://www.sp2.upenn.edu/SIAP/wp8txt.pdf> [Acceso: 3 junio 2008].
- Tunstall, R. y Fenton, A. (2006): *In the mix; A review of research on mixed income, mixed tenure and mixed communities*. Housing Corporation, Joseph Rowntree Foundation, English Partnerships. www.housingcorp.gov.uk/upload/doc/In_the_mix_large_print_version.doc [Acceso: 22 Noviembre 2007]
- Unión Europea (2005): Convenio sobre el acceso a la información, la participación del público en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en materia de medio ambiente (carta de Aarhus), Diario Oficial de la Unión Europea, 17 de Mayo, L124/1-20.
- Ventegodt, S., Merrick, J. y Andersen, N. J. (2003): Quality of life theory III. Maslow revisited. *The Scientific World Journal*, 3: 1050-1057.

- Waddell, P., Ulfarsson, G. F., Franklin, J. P. y Lobb, J. (2007): Incorporating land use in metropolitan transportation planning. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41: 382-410.
- Williams, K., Jenks, M. y Burton, E. (2000): *Achieving Sustainable Urban Form*. Taylor & Francis, 388 pp.
- World Bank (2006): *Where Is the Wealth of Nations?: Measuring Capital for the 21st Century*. World Bank Publications, 208 pp.

Moré, Gerard; Serra, Pere; Domingo, Cristina y Pons, Xavier (2008): Seguimiento multitemporal de la inundación invernal de arrozales a través de imágenes de satélite. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información* Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 92-105. ISBN: 978-84-96971-53-0.

SEGUIMIENTO MULTITEMPORAL DE LA INUNDACIÓN INVERNAL DE ARROZALES A TRAVÉS DE IMÁGENES DE SATÉLITE

Moré, Gerard¹; Serra, Pere²; Domingo, Cristina² y Pons, Xavier^{1, 2}

(1) CREAM (Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales), Edificio C, Universidad Autónoma de Barcelona, 08193-Cerdanyola del Vallès (Barcelona). E-mail: g.more@creaf.uab.cat

(2) Departamento de Geografía, Edificio B, Universidad Autónoma de Barcelona, 08193-Cerdanyola del Vallès (Barcelona).

RESUMEN

Se presenta un clasificador automático diseñado a partir del análisis discriminante con el objetivo de diferenciar 8 categorías referentes a distintos posibles estados de los arrozales durante la temporada de inundación. El método presentado tiene la particularidad de que, una vez superada la fase de entrenamiento, no requiere de áreas de entrenamiento para cada nueva clasificación que se quiera obtener. Si las imágenes se han sometido a una corrección radiométrica suficientemente robusta, el clasificador puede utilizarse a modo retrospectivo sobre imágenes anteriores. En el presente estudio, centrado en el Delta del Ebro, la fase de entrenamiento se llevó a cabo con información de Octubre de 2006 y Enero de 2007 y el clasificador automático se aplicó sobre un total 10 imágenes de las temporadas 2004-05 y 2006-07. Unos aciertos globales superiores al 90% independientemente de la fecha escogida demuestran que la metodología es operativa para obtener clasificaciones de modo inmediato a la captura de la imagen así como para la realización de estudios retrospectivos en los que no se disponga de información de terreno. El estudio va acompañado de dos ejemplos de explotación de los resultados: a) estudio de la evolución temporal de las cubiertas de inundación por temporada; y b) uso del enriquecimiento vectorial como herramienta de actualización del SIGPAC.

Palabras Clave: Inundación, Análisis Discriminante Lineal; Clasificación Multitemporal; Delta del Ebro.

ABSTRACT

An automatic classifier based on discriminant analysis is presented in order to differentiate among 8 categories collecting distinct stages of rice fields during the flooding season. The method has the particularity that, after the training phase, does not require additional training areas to obtain classifications over images acquired in new dates. Moreover, if the images have been radiometrically corrected, the classifier can be used in a retrospective way using past images. In this work, focused on Ebro Delta, training phase has been done with information from 2006 October and 2007 January while the automatic classifier has been applied over a total of 10 images of 2004-05 and 2006-07 periods. Values of global accuracy higher than 90% independently of the date demonstrate that the methodology is operative to obtain classifications immediately after the acquisition of the image without the need of training areas; as well as to do retrospective classifications over images without terrain information. In the study, two examples of exploitation of the results are presented: a) monitoring the temporal evolution of flooding categories by period; and b) use of the vectorial enrichment as an updating tool of SIGPAC.

Key Words: Flooding; Linear Discriminant Analysis; Multitemporal classification; Ebro Delta.

INTRODUCCIÓN

La Convención RAMSAR sobre Humedales (1971) demuestra la importancia que internacionalmente se atribuye a los humedales como un ecosistema único para el mantenimiento de la biodiversidad. Desde un punto de visto de la gestión ambiental, resultan especialmente interesantes aquellos humedales cuyos ecosistemas dependen total o parcialmente de actividades humanas como pueden ser la agricultura o la acuicultura entre otras.

Un claro ejemplo de ecosistema complejo ligado a las prácticas humanas pueden ser los campos de arroz (Fasola y Ruiz, 1996).

Gracias a su resolución temporal, espectral y espacial, las imágenes de Teledetección se han convertido en una útil herramienta para el seguimiento de inundaciones. Existe una gran variedad de técnicas utilizadas para el estudio de humedales e inundaciones entre los que cabe destacar aquellos que usan imágenes de satélite en el espectro del óptico o del radar, las clasificaciones digitales de tipos de humedales, la obtención de índices espectrales específicos y el uso del análisis de componentes principales (Li y Chen, 2005; Ozesmi y Bauer, 2002; Töyrä y Pietroniro, 2005).

A pesar de que la relativa abundancia de estudios realizados demuestra la utilidad de estas técnicas, la mayoría de trabajos realizados no hacen un uso intensivo de la resolución temporal ofrecida por las imágenes de satélite. El uso de series temporales requiere, por una parte, una corrección radiométrica y atmosférica suficientemente robusta como para poder comparar las imágenes de distintas fechas y, en segundo lugar y especialmente en los trabajos de clasificación digital, una suficiente disponibilidad de áreas de entrenamiento para cada una de las fechas tratadas. En el caso de humedales e inundaciones la obtención de áreas de entrenamiento a partir de trabajo de campo puede resultar más complicada de lo común por razones obvias de accesibilidad al terreno. Esta dificultad se ve agravada cuando el objetivo es obtener cartografía temática de forma muy repetida en el tiempo (por ejemplo una imagen cada 16 días).

Desde una óptica del estado de inundación de los campos de arroz, la existencia de un clasificador automático que ofrezca la capacidad de observar objetivamente el territorio cada cierto tiempo puede ser una herramienta de gran utilidad por la Administración. Un excelente ejemplo puede ser la aplicación de las medidas agroambientales de la Unión Europea (Regulación CE 1257/1999) de ayuda al desarrollo rural sostenible que pretenden promover prácticas que favorezcan la conservación de los ecosistemas. Dos de las medidas propuestas más importantes son la inundación de los arrozales durante el periodo invernal, cuando están sin cultivar, para favorecer a las aves acuáticas, y la eliminación de la vegetación espontánea mezclando el agua y el suelo a través de técnicas mecánicas para minimizar la contaminación con pesticidas.

En el presente trabajo, se ha aplicado un análisis discriminante con funciones canónicas sobre las bandas del espectro óptico de Landsat para discriminar entre 8 categorías, cinco de las cuales corresponden a estados de inundación de los campos de arroz mientras que las tres restantes corresponden a otros cultivos o cubiertas diferentes de arroz. El análisis discriminante utiliza la combinación lineal de variables para reducir la dimensionalidad de los datos (especialmente cuando existe una alta correlación entre las variables de entrada) a la vez que maximiza las diferencias estadísticas entre las clases que se quieren discriminar (Zhao y Maclean, 2000). Se espera que los coeficientes canónicos obtenidos sean representativos y puedan ser usados en otras fechas de manera que el análisis discriminante actúe como un clasificador automático sin la necesidad de tener que obtener nuevas áreas de entrenamiento para cada nueva fecha.

El objetivo de este trabajo consiste, pues, en la aplicación de una metodología para el seguimiento multi-temporal del estado de inundación de los arrozales en el delta del Ebro durante los meses de otoño e invierno (de Septiembre a Enero). El clasificador se ha entrenado con un conjunto de áreas de entrenamiento tomadas durante los meses de Octubre y Diciembre de 2006 y, posteriormente, se ha comprobado su fiabilidad de clasificación con imágenes de la temporada 2006-07 y también como clasificador retrospectivo en años anteriores, concretamente para la temporada 2004-05. A modo de ejemplo del posible potencial de explotación de los datos obtenidos, los resultados se han utilizado para analizar el seguimiento de la campaña de inundación para las temporadas 2004-05 y 2006-07. Asimismo, también se explica como las clasificaciones obtenidas por Teledetección pueden ser utilizadas para enriquecer la base vectorial del SIGPAC y servir a la Administración como herramienta de seguimiento de la aplicación de las medidas agroambientales a nivel de parcela agrícola.

ÁREA DE ESTUDIO Y LEYENDA DE CLASIFICACIÓN

El Delta del Ebro, con una superficie total de 330 km², es el tercer hábitat acuático más importante del Mediterráneo Occidental después de la Camarga francesa y del Parque Nacional de Doñana (véase figura 1). Parte

de su superficie (7,700 ha) está protegida como Parque Natural y como Área de Protección Especial por la Directiva Europea (70/409/CEE).

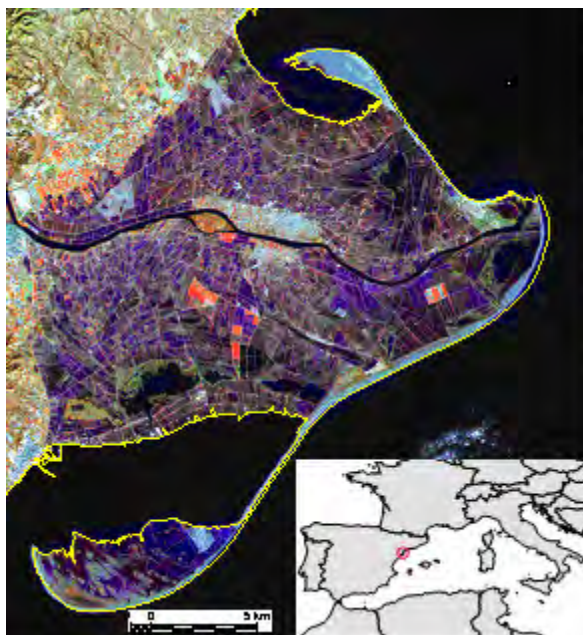


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. Combinación en falso color 4+5+3 de Landsat 5-TM tomada el 30 de Noviembre de 2006.

A pesar de la importancia de los hábitats naturales del Delta del Ebro, las actividades humanas ocupan una superficie notable, especialmente los arrozales que corresponden al 65% de la superficie total del delta. De acuerdo con las prácticas del cultivo del arroz se pueden diferenciar dos períodos. El primer período se extiende entre Abril y Septiembre e incluye el sembrado, el crecimiento y la cosecha de arroz. El segundo período va de Septiembre hasta Marzo y durante este tiempo los campos restan inactivos. Este período coincide con la temporada migratoria de varias especies de aves que se desplazan desde Europa hasta África y que utilizan el Delta del Ebro como una zona de alimentación y descanso. Aunque durante este período los campos de arroz estén inactivos, no significa que estén completamente inalterados. Desde la adopción de medidas agroambientales en el año 2000, la práctica de inundación de arrozales durante este período permite que la región actúe como un mosaico de hábitats disponibles para una variedad importante de aves acuáticas (especialmente las aves migratorias de la Europa Occidental antes mencionadas).

El cultivo de arroz implica que el paisaje esté continuamente cambiando a lo largo del año y, consecuentemente, actuando como diferentes hábitats en función de la fecha. Este dinamismo está ligado a las particulares prácticas agrícolas en la zona y es un factor importante a tener en cuenta en el momento de definir la leyenda de clasificación y de analizar los resultados. Desde finales de Septiembre los agricultores cosechan el arroz y dejan los campos arados con agua y ocasionalmente con restos de vegetación. Los campos de arroz pueden permanecer en este estado durante dos o tres meses hasta que los agricultores remueven la tierra para que se mezcle el suelo con el agua dando lugar a la formación de una lámina de agua más o menos profunda en función de la cantidad de agua y de las propiedades particulares del suelo. Esta situación se mantiene hasta que se aproxima el final del invierno, momento en que se deja de aportar agua a los campos y éstos se empiezan a secar para que, finalmente, queden totalmente secos y preparados para empezar de nuevo el ciclo con la siembra. El cultivo del arroz sigue estos pasos de forma general, pero no todas las parcelas lo hacen al mismo tiempo y en ocasiones algunos de los pasos pueden ser omitidos.

La leyenda de clasificación recoge estos distintos estados de inundación de los campos de arroz y al mismo tiempo intenta diferenciar entre distintos niveles de profundidad cuando los campos están muy inundados. La

leyenda incluye ocho categorías (véase tabla 1), cinco de ellas corresponden a estados de la inundación de los campos de arroz y las otras tres hacen referencia a cultivos diferentes de arroz o otras cubiertas no agrícolas. Según Ibáñez (1999), la profundidad de la inundación es el factor más determinante en referencia a la función ecológica de los campos de arroz; por lo tanto cuatro categorías definen el nivel de agua o la cantidad de agua de la parcela. A continuación se relacionan estas categorías en orden decreciente de cantidad de agua: *lámina de agua profunda*, *lámina de agua superficial*, *suelo saturado de agua*, *suelo secado*. Hay que tener en cuenta que la categoría *campo inundado sin mezclar* ciertamente indica la presencia de agua en la parcela, sin embargo no se puede deducir la cantidad de agua dada la naturaleza de mezcla de la categoría (suelo, agua y vegetación). El interés de esta categoría no es el nivel de agua sino la presencia simultánea de agua, suelo y/o vegetación ya que esta combinación forma un hábitat interesante para ciertos tipos de aves. Las tres categorías restantes (*cultivo diferente de arroz*, *suelo improductivo* y *suelo seco*) corresponden a categorías que no forman parte del cultivo de arroz. La diferencia entre *suelo secado* y *suelo seco* es que el primero de ellos corresponde a la última etapa del ciclo que sigue un campo que ha sido previamente inundado, mientras que el suelo seco hace referencia a un campo que no ha sido inundado durante la temporada estudiada.

Tabla 1. Descripción de las categorías de la leyenda.

Categoría	Descripción
Lámina de agua profunda	Campo inundado con más de 15 cm aproximadamente de profundidad
Lámina de agua superficial	Campo inundado con menos de 15 cm aproximadamente de profundidad
Campo inundado sin mezclar	Estado que sigue a la cosecha de arroz y que consiste en suelo arado, agua y ocasionalmente restos de vegetación.
Suelo saturado de agua	Campo inundado en el que se han mezclado mecánicamente el agua y el suelo, y donde la cantidad de agua no es suficiente para formar una lámina.
Suelo secado	Campo previamente inundado y que se ha secado
Suelo seco	Suelo seco no cultivado y que no ha sido inundado durante la campaña
Suelo improductivo	Cubiertas urbanas, carreteras, etc.
Cultivos diferentes de arroz	Actividad agrícola no ocupada por arrozales

MATERIAL Y MÉTODOS

Datos de Teledetección y SIG

Para este estudio se han utilizado imágenes Landsat 5-TM tomadas durante la estación de otoño-invierno para las temporadas 2006-07 y 2004-05 (véase tabla 2). Ninguna de las imágenes contiene cubierta de nubes, exceptuando la del 16 de Diciembre de 2006 que fue utilizada a pesar de estar parcialmente ocupada por nubes. La imagen del 22 de Marzo de 2007 se ha utilizado a pesar de estar fuera de la temporada de inundación. El período 2005-06 no se ha analizado por su alta presencia de nubes.

Tabla 2. Imágenes disponibles para las temporadas 2004-05 y 2006-07.

Temporada	
2004-05	2006-07
23 de Octubre	29 de Octubre
24 de Noviembre	14 de Noviembre
10 de Diciembre	30 de Noviembre
11 de Enero	16 de Diciembre
	17 de Enero
	22 de Marzo

Las imágenes se han corregido geométricamente según el método presentado por Palà y Pons (1995) y usando la interpolación por vecino más próximo para preservar la radiometría original de las imágenes. Se usa-

ron 26 puntos de control y 10 puntos de test por imagen. Todas las imágenes tienen un error RMS promedio menor a un píxel. La corrección radiométrica convierte los valores digitales (DN) a valores de reflectancia mediante el uso de los parámetros de calibración del sensor y otros factores como los efectos atmosféricos, el ángulo de incidencia solar teniendo en cuenta el relieve, etc (Pons y Solé-Sugrañes, 1994). Los parámetros de calibración del sensor se han extraído directamente de las imágenes originales. Los parámetros de corrección atmosférica se basan en la asunción de atmósferas estándar combinado mediante la aproximación de Chavez (1988) para la estimación de la contribución de la atmósfera a la radiancia captada por el sensor. Otros parámetros necesarios para la corrección se obtuvieron de distintas fuentes: Modelo Digital de Elevaciones de 20 m que permite calcular los ángulos de incidencia y las sombras proyectadas; la posición solar y la distancia entre la Tierra y el Sol obtenido de los metadatos, etc.

A través del SIGPAC (Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícola) se ha aplicado una máscara a las imágenes de Teledetección con el objetivo de centrar el estudio únicamente en los campos donde los agricultores aplican las ayudas agroambientales (9,471 parcelas ocupando 20,363 ha para la temporada 2006-07) y, al mismo tiempo, evitar posibles confusiones espectrales con otras cubiertas que no son de interés para el presente estudio.

Fase de entrenamiento

El análisis discriminante (AD) es una metodología útil cuando es preciso separar o clasificar grupos (Manly, 1994). El AD implica la combinación lineal de las variables originales produciendo un nuevo conjunto de variables que maximizan las diferencias estadísticas entre los grupos predefinidos por el usuario. La primera componente canónica contendrá la parte de la información contenida en los datos originales que mejor sirve para diferenciar los grupos mientras que la información menos interesante en este sentido quedará comprendida en las últimas componentes canónicas (Zhao y MacLean, 2000). El análisis obtenido mediante las funciones canónicas nos da información sobre cuales son las bandas más útiles para discriminar los grupos de interés así como permite reducir la dimensionalidad de los datos favoreciendo la diferenciación de las categorías usando un menor número de variables. Además, la metodología también puede ser usada como un clasificador, es decir, que es posible asignar una categoría temática a un píxel desconocido.

A diferencia de las situaciones habitualmente encontradas en la clasificación detallada de vegetación natural, donde la respuesta radiométrica de las categorías es altamente dependiente de la fecha de la imagen, las categorías del presente estudio son radiométricamente muy estables en el tiempo. Esto permite que el entrenamiento del AD se efectúe con un solo conjunto de áreas de entrenamiento y que, una vez entrenado, el AD se pueda utilizar a modo de clasificador en imágenes tomadas en otras fechas.

Las imágenes resultantes de la corrección geométrica y radiométrica tienen un rango consistente de valores de reflectancia y esto facilita la comparación de imágenes de distintas fechas. Durante los días de 29 de Octubre de 2006 y 17 de Enero de 2007 se realizó trabajo de campo con el objetivo de tomar áreas de entrenamiento para el AD. Distintas parcelas representativas de cada categoría fueron georeferenciadas con la ayuda de GPS, la cartografía del SIGPAC y la imagen Landsat más próxima a la fecha de muestreo. El trabajo de campo se realizó en dos fechas distintas debido a que la categoría *suelo secado* no aparece hasta el invierno (recordamos que esta categoría corresponde a una parcela que se ha inundado y posteriormente se ha dejado secar). Aproximadamente el 40% de las áreas capturadas mediante trabajo de campo fueron reservadas para realizar un test independiente de los resultados.

El trabajo de campo también sirvió para comprobar que las categorías de la leyenda eran claramente identificables a partir de la fotointerpretación de las imágenes Landsat. Esto supone la posibilidad de digitalizar áreas por fotointerpretación con el objetivo de ser utilizadas en la evaluación de las clasificaciones en las fechas en que no hay trabajo de campo.

Fase de clasificación y clasificación retrospectiva

El AD se realizó utilizando, pues, las áreas de entrenamiento de las 8 categorías y las imágenes mencionadas anteriormente (29-10-2006 y 17-01-2007). Se calcularon los coeficientes de las funciones de Fisher de cada

categoría para ser posteriormente aplicados en la fase de clasificación usando otras imágenes. Tal y como se ha comentado más arriba, se asumió que la respuesta espectral de las categorías de la leyenda no cambian con el tiempo y que, por lo tanto, después de la conveniente corrección radiométrica, no es necesario recoger nuevas áreas de entrenamiento a través de trabajo de campo para cada una de las fechas disponibles incluso si existe un lapso de tiempo importante entre la fecha de entrenamiento y la de clasificación (en nuestro caso, dos años). En base a esta asunción, los coeficientes de las funciones de Fisher por cada categoría se aplicaron a todas las imágenes disponibles para obtener clasificaciones temáticas.

Enriquecimiento de la cartografía SIGPAC

La cartografía vectorial SIGPAC fue enriquecida con las clasificaciones obtenidas por cada fecha. El enriquecimiento vectorial consiste en el cálculo de algunos estadísticos de la imagen ráster (en nuestro caso, una imagen temática de clasificación) a escala de los polígonos de un mapa vectorial (en nuestro caso, la cartografía SIGPAC) (Serra *et al.*, 2006). El producto del enriquecimiento es un mapa vectorial geoméricamente idéntico al original, pero que contiene más información alfanumérica: por ejemplo, la clase modal en el polígono y la superficie relativa ocupada por esta clase dentro del polígono. Una vez la base SIGPAC ha sido enriquecida, puede ser utilizada como una potente herramienta para la administración dado que en ella se conjuga el potencial de una base vectorial, a una escala de trabajo óptima para la administración (parcelas o recintos SIGPAC), con información ráster actualizada por Teledetección.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase de entrenamiento

Según el AD efectuado, las dos primeras funciones canónicas discriminantes contienen el 86.4% de la varianza total de los datos. Tal y como se puede observar en la matriz de estructuras del AD (véase tabla 3), la primera función canónica tiene una alta correlación con los canales del infrarrojo mientras que la segunda función canónica se correlaciona predominantemente con las bandas del visible.

Tabla 3. Matriz de estructura del AD. Esta matriz muestra las correlaciones entre las variables discriminantes (bandas de Landsat 5-TM) y las funciones discriminantes canónicas estandarizadas. (* indica la correlación absoluta mayor entre la variable y cualquiera de las funciones discriminantes)

Banda Landsat 5-TM	Función AD					
	1	2	3	4	5	6
5	*0.743	0.414	-0.190	-0.405	-0.094	0.258
4	*0.710	0.206	0.556	0.342	0.025	-0.162
7	*0.650	0.393	-0.462	-0.223	0.326	0.231
2	0.244	*0.904	0.184	-0.010	0.093	-0.283
3	0.253	*0.815	-0.177	0.092	-0.021	0.481
1	0.145	*0.589	0.348	-0.232	0.481	0.475

Después de la rotación de los ejes efectuada mediante el AD, los grupos permanecen homogéneos y distinguibles entre ellos tal y como puede observarse en la figura 2. La primera función parece que de alguna manera representa un gradiente del nivel de agua: las cubiertas con agua tienen valores negativos mientras que las cubiertas sin agua presentan valores positivos. Cuanto más negativos son los valores para la función 1, mayor es la cantidad de agua contenida en el píxel. Observamos que los valores de función 1 se saturan al formarse la lámina de agua, de modo que esta función no permite la diferenciación de distintos niveles de profundidad de la lámina de agua. Los valores cerca de 0 pertenecen a píxeles con un contenido bajo de agua. La segunda función

parece representar la contribución del suelo en la respuesta espectral del píxel: cuanto más negativos son los valores que toma la función 2, menor es la contribución del suelo en el píxel *cultivos diferentes de arroz* y *lámina de agua profunda* son las categorías con una contribución del suelo inferior (la primera por la densa cobertura de vegetación, y la segunda por el efecto del agua). La profundidad de la *lámina de agua superficial* parece no ser suficiente para absorber toda la reflectancia del sol. Por este motivo, la segunda función canónica permite la diferenciación de la *lámina de agua profunda* y la *lámina de agua superficial*.

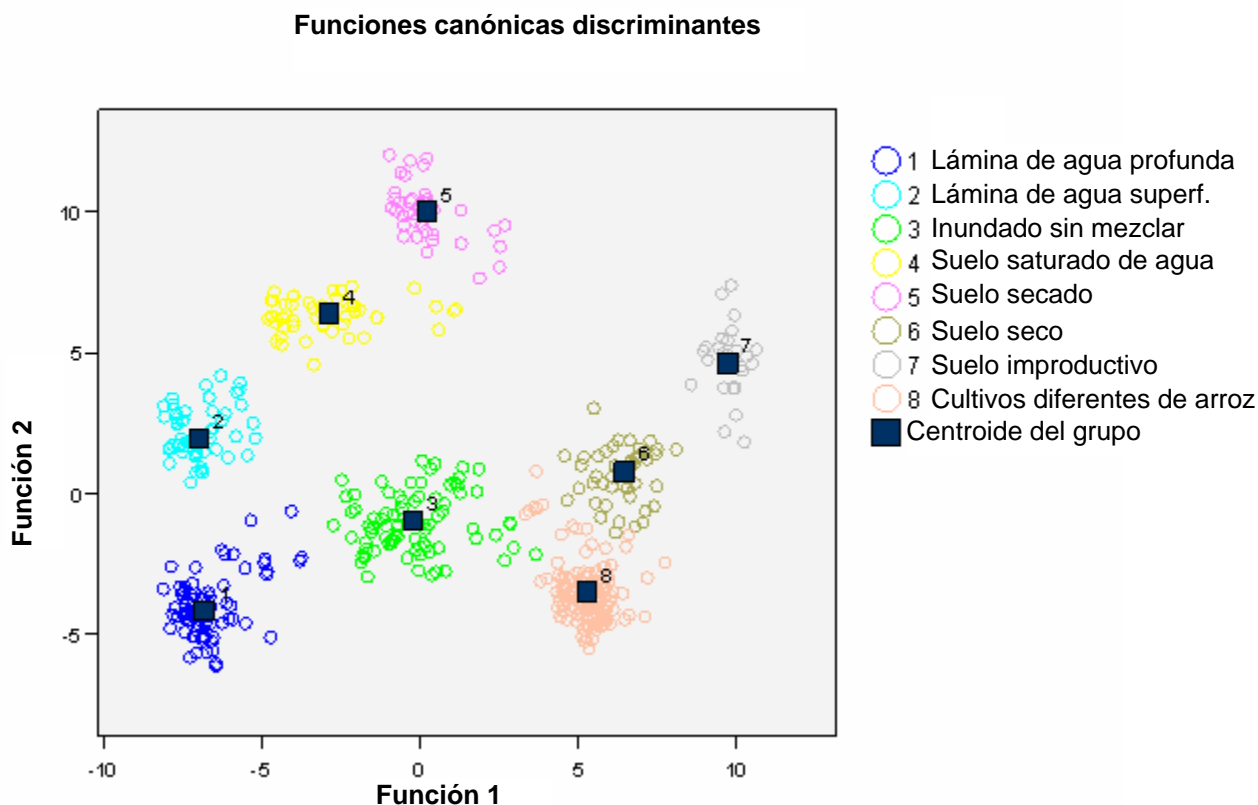


Figura 2. Gráfico biplot entre la primera y la segunda función canónica.

Llama la atención el hecho que para la función 2 la categoría *suelo seco* tenga valores notablemente mayores que la categoría *suelo seco*. Esta diferencia puede tener al menos dos explicaciones. En primer lugar, el *suelo seco* suele tener una cubierta de textura considerablemente más rugosa que el *suelo seco*, y este hecho puede producir diferencias entre la reflectancia de ambas categorías. En segundo lugar, el *suelo seco* puede contener material orgánico e incluso pequeñas cantidades de vegetación dispersa mientras que esto nunca se encuentra en el *suelo seco*.

A partir de la figura 2 podemos detectar dos regiones donde es posible que se dé cierta confusión entre clases: a) entre las categorías *suelo arado con agua* y *residuos de vegetación*, *suelo seco* y *suelo improductivo*; y b) entre *suelo seco* y *suelo seco*.

Fase de clasificación

Tal y como se ha comentado anteriormente, los coeficientes de las funciones de Fisher extraídos se pueden aplicar a cualquiera de las imágenes del período 2006-07. La figura 4 muestra la clasificación para cada una de las fechas. El grado de acierto de todas ellas fue evaluado mediante matrices de confusión a partir de las áreas recogidas en el trabajo de campo (para el 29 de Octubre de 2006 y el 17 de Enero de 2007) o a partir de fotoin-

interpretación por el resto de fechas. A pesar de que el acierto global fue muy satisfactorio en todas las clasificaciones (véase tabla 4), existe cierto grado de confusión entre algunas categorías. En primer lugar, las categorías *lámina de agua superficial* y *suelo secado* se confunden para la imagen del 29 de Octubre de 2006. Este tipo de error se considera aceptable ya que la frontera entre la definición de ambas categorías no es totalmente rígida. De hecho, incluso durante el muestro de campo surgen a menudo parcelas que son difíciles de etiquetar como una categoría u otra. Esto se debe a que cuando el campo se está secando pueden quedar zonas donde permanece una lámina de agua muy superficial y otras donde la lámina ha desaparecido y emerge el suelo saturado de agua. En segundo lugar, también se aprecia cierta confusión entre las categorías *suelo saturado de agua* y *suelo secado*. Este error es cuantitativamente muy pequeño dado que por la fecha los píxeles que se encuentra en el estado de *suelo secado* son muy poco representativos. En tercer lugar, en las imágenes de Noviembre, la categoría de *suelo arado con agua y residuos de vegetación* presentaba confusión con *lámina de agua profunda* y con *lámina de agua superficial*. Este error se debe probablemente a un incremento en la contribución de agua de los campos. Finalmente, existe confusión entre *cultivos diferentes de arroz* y *suelo improductivo*. En este último caso, la confusión está producida por la proximidad de carreteras y suelo improductivo en los cultivos (a su tiempo debido a la precisión geométrica de las imágenes y de la base SIGPAC entre otros factores). De todos modos, los niveles de confusión comentados se mantienen a niveles muy bajos y son plenamente aceptables para los objetivos del presente estudio.

Tabla 4. Acierto global de las clasificaciones de las imágenes Landsat 5-TM disponibles durante el período 2006-07.

Fecha	Acierto global (%)
29-10-2006	91.2
14-11-2006	91.9
30-11-2006	98.7
16-12-2006	90.9
17-01-2007	92.8
22-03-2007	93.2

Tal y como puede observarse en la figura 3, aquellas zonas situadas en el extremo este y extremo sur, donde se ubican las lagunas internas del Delta, la inundación comienza antes y es más intensa que el resto de la zona debido a las propiedades de drenaje del suelo (con una gran dificultad para secarse). En las figuras de 3-b a 3-e se pueden observar dos situaciones irregulares que se dan entre Noviembre y Diciembre y que son debidas a problemas técnicos en el canal de riego cosa que produjo un secado prematuro de las parcelas (comunicación personal del personal del Departamento de Agricultura, Alimentación y Acción Rural de la Generalitat de Catalunya).

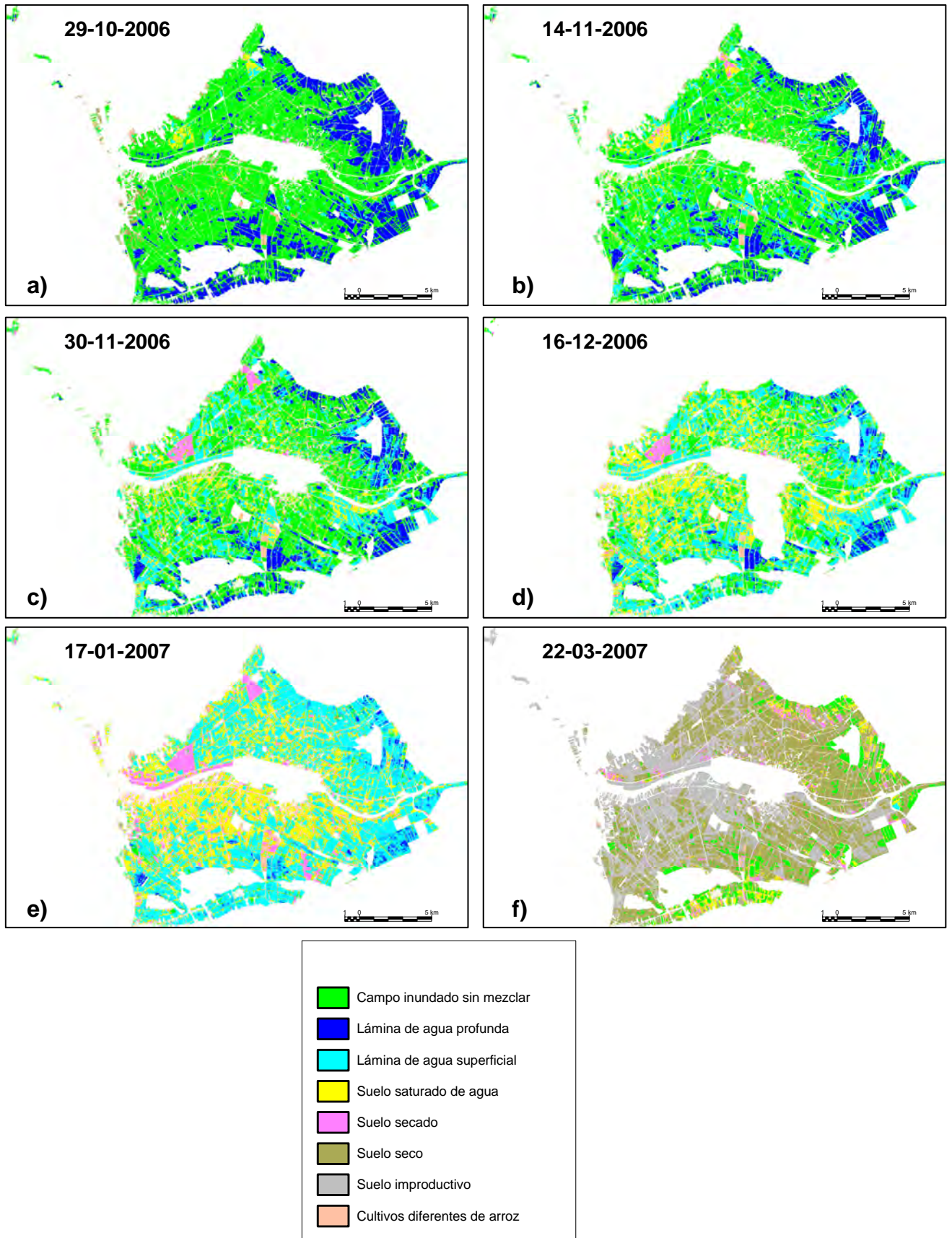


Figura 3. Imágenes clasificadas por fecha durante el período 2006-07.

Clasificación retrospectiva

Tal y como se ha comentado anteriormente, los coeficientes de las funciones de Fisher también se han aplicado a las imágenes disponibles para el período 2004-05, a pesar de que el método fue entrenado únicamente con datos del período 2006-07. La figura 4 muestra las clasificaciones por cada fecha disponible en este período. Del mismo modo que las clasificaciones del período 2004-05, estas clasificaciones fueron también evaluadas mediante matrices de confusión. No existen diferencias importantes en el acierto global entre las clasificaciones de los dos períodos (véase tabla 5) y el análisis de las matrices de confusión da también unas conclusiones similares. El análisis de la distribución de las categorías en la zona de estudio es también muy similar a la del período 2006-07 a diferencia de que no existen las situaciones irregulares anteriormente mencionadas.

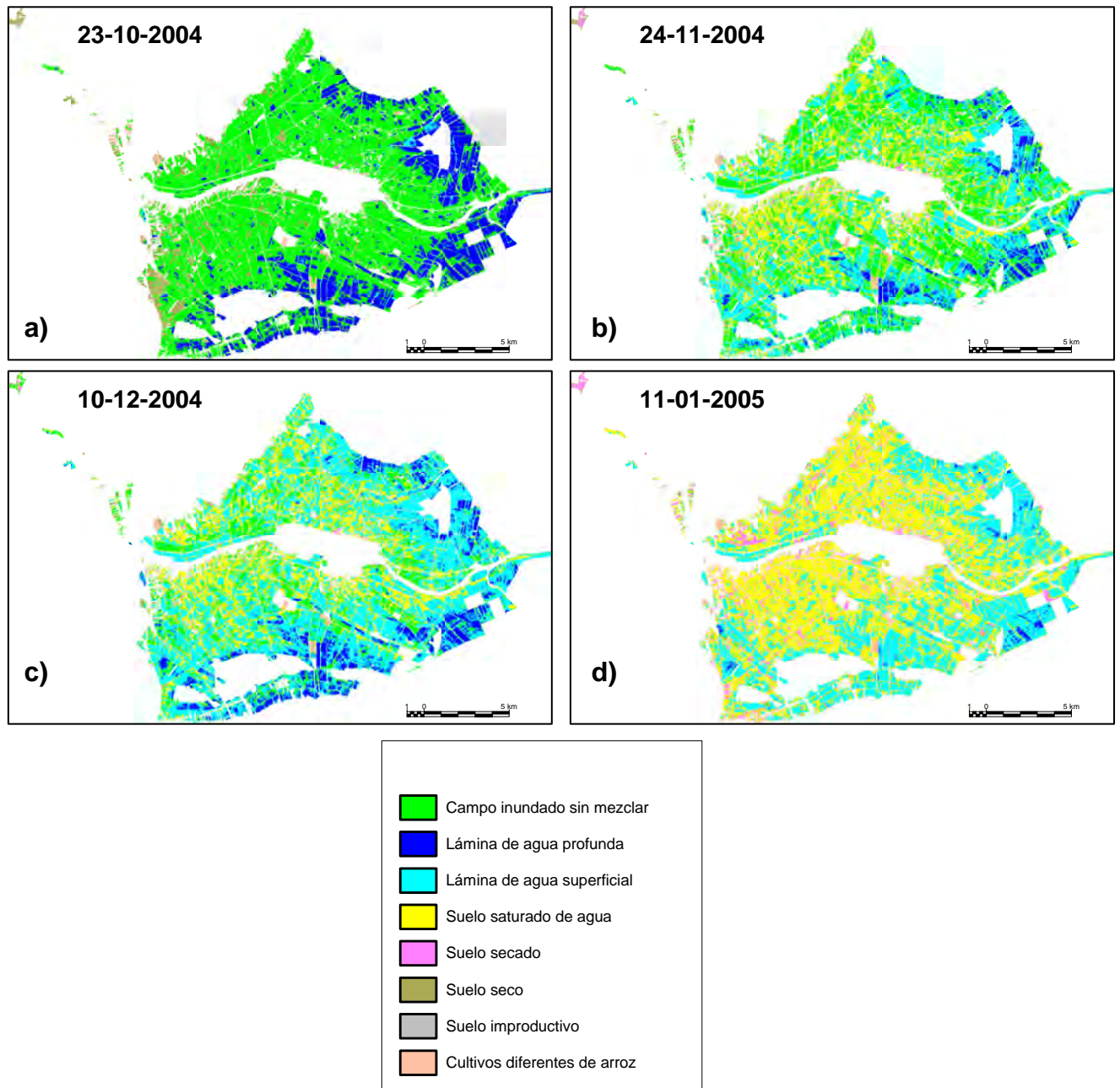


Figura 4. Imágenes clasificadas por fecha durante el período 2004-05.

Tabla 5. Acierto global de las clasificaciones de las imágenes Landsat 5-TM disponibles durante el período 2004-05.

Fecha	Acierto global (%)
23-10-2004	96.0
24-11-2004	91.1
10-12-2004	95.3
11-01-2005	92.7

Análisis temporal de las cubiertas

Una vez realizadas las clasificaciones por fecha, se ha realizado un análisis temporal del cambio de cubiertas. La superficie relativa de cada categoría según la fecha se presenta en la figura 5. Durante el período 2006-07, la categoría *campo inundado sin mezclar* predomina durante los meses de Octubre y Noviembre y, a partir de este momento, la categoría *lámina de agua superficial* va creciendo paulatinamente en importancia. En Diciembre la mayoría de la superficie del Delta había sido arada de nuevo y en Enero la categoría *campo inundado sin mezclar* ya era prácticamente inexistente. El ligero incremento observado el 22 de Marzo de 2007 no se puede atribuir a esta categoría sino a la aparición de vegetación natural en zonas muy húmedas. *Lámina de agua superficial* y *campo inundado sin mezclar* fueron incrementando desde Octubre hasta Enero. *Lámina de agua profunda* decreció desde Octubre hasta Enero y en Marzo la zona de estudio estaba casi totalmente secada a excepción de unos pocos campos que permanecían todavía inundados (probablemente para ser aprovechados para caza o por motivos de conservación biológica).

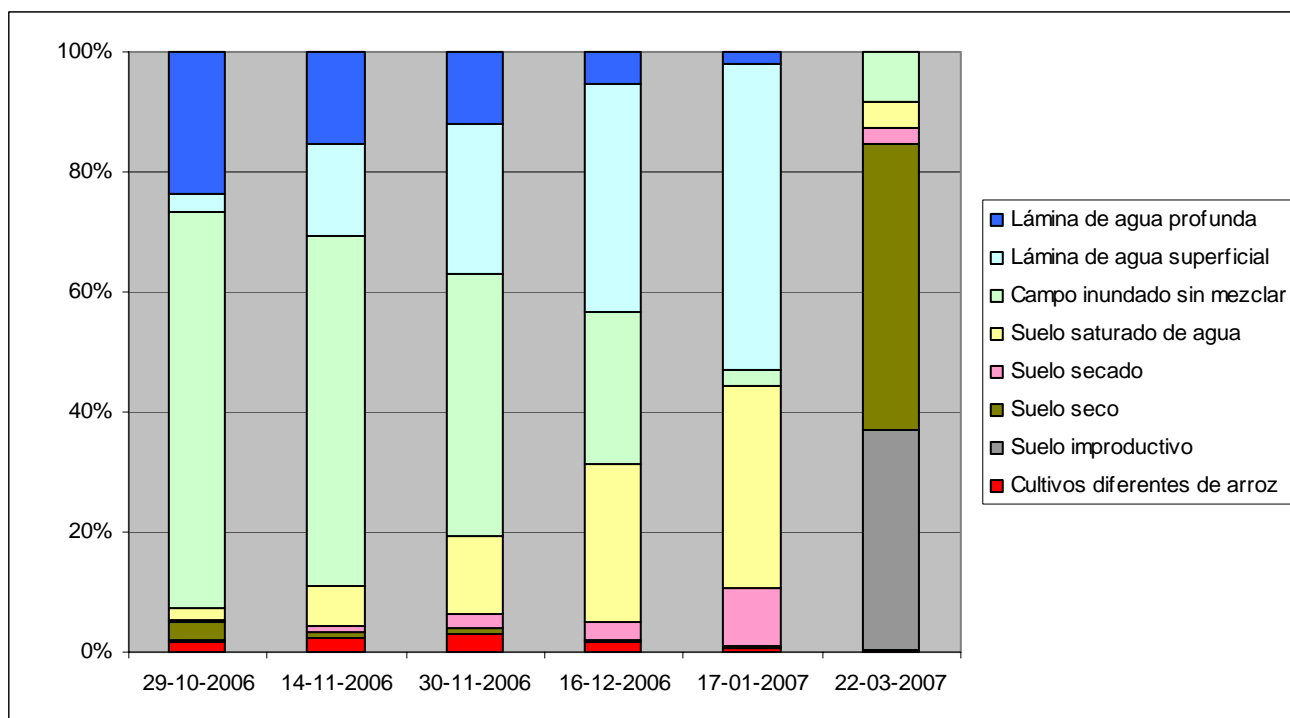


Figura 5. Superficie relativa de las categorías de la leyenda por fecha (temporada 2006-07)

Durante el período de 2004-05, la evolución temporal de las categorías fue muy similar al período 2006-07 exceptuando algunas diferencias (véase figura 6). En primer lugar, en Noviembre, *lámina de agua profunda* y *campo inundado sin mezclar* ocupaba menos área que en 2006-07 mientras que la *lámina de agua superficial* ocupó más superficie. Esto hace pensar que el proceso de mezcla de suelo y agua empezó antes en el período

2004-05 que en el período 2006-07. En segundo lugar, en Diciembre, la *lámina de agua superficial* ocupaba aproximadamente el 50% de la superficie total (mientras que durante el período 2006-07 ocupaba un 38%). En tercer lugar, en Enero, la categoría *suelo saturado de agua* ocupaba un 52.5% de la superficie (mientras que durante el período 2006-07 ocupaba un 33.6%). Por estas razones, podemos concluir que la principal diferencia entre los dos períodos es que en la temporada 2004-05 las prácticas agrícolas aplicadas a la inundación de los arrozales empezaron entre 2 y 3 semanas antes que en la temporada 2006-07.

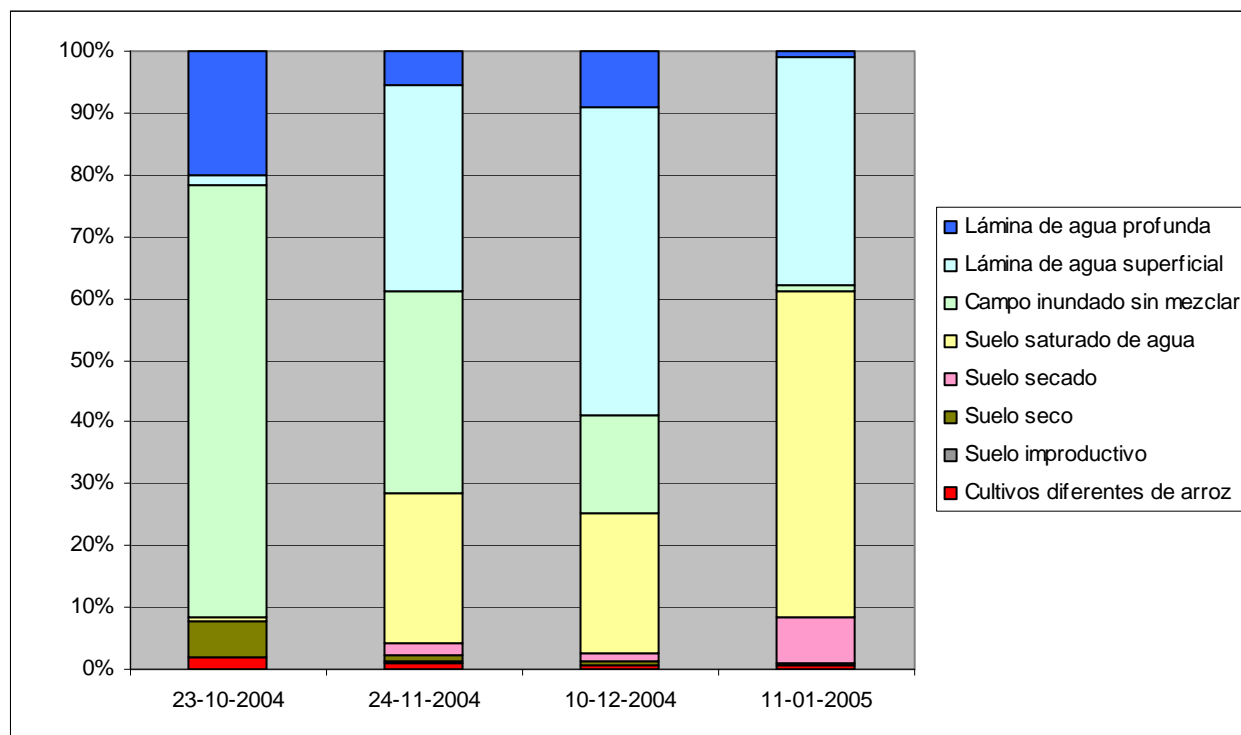


Figura 6. Superficie relativa de las categorías de la leyenda por fecha (temporada 2004-05)

Enriquecimiento vectorial

El enriquecimiento vectorial ofrece un nuevo marco para estudiar la situación de la inundación de los campos de arroz mediante Teledetección: el análisis a escala de parcela agrícola. Una vez efectuado el enriquecimiento, se pueden realizar consultas comunes sobre la base alfanumérica para conocer qué parcelas permanecieron cultivando otros productos diferentes del arroz, no se inundaron o se mantuvieron inundadas por un intervalo de tiempo excesivamente pequeño. Según los resultados finales, los agricultores que realizaron una declaración que no coincidía con los datos de Teledetección eran inferiores al 10% en número y afectaban a menos del 5% de la superficie total.

CONCLUSIONES

El AD demuestra que las seis bandas del espectro óptico de Landsat 5-TM son útiles para caracterizar ocho categorías diferentes concernientes al nivel de agua de los campos de arroz y a su grado de humedad. La diferenciación de las categorías parece posible gracias al contraste entre los valores de reflectancia entre los canales de la región visible e infrarrojo del espectro. Este hecho favorece que los coeficientes de las funciones de Fisher derivadas del AD se utilicen como un clasificador de imágenes.

Se ha comprobado que, si la corrección radiométrica es suficientemente robusta, el clasificador derivado del AD puede ser usado de forma automática y sin la necesidad de usar áreas de entrenamiento adicionales. En

este sentido, el AD, a pesar de haber sido entrenado con único conjunto de áreas durante el 2006, se ha aplicado a modo de clasificador automático en un amplio conjunto de fechas diferentes (un total de 10), algunas de las cuales fueron tomadas dos años antes de las fechas usadas para el entrenamiento. Se ha comprobado que la metodología es operativa y ofrece resultados con aciertos superiores al 90% independientemente de la fecha introducida.

Los resultados obtenidos pueden ser de interés por un número potencialmente elevado de aplicaciones. A modo de ejemplo, en el presente trabajo se ha analizado la campaña de inundación del Delta del Ebro para las temporadas 2004-05 y 2006-07 desde un punto de vista del cambio de cubiertas a través del tiempo. También a modo de ejemplo, se ha mostrado como mediante el enriquecimiento vectorial, los datos de Teledetección se pueden utilizar como actualización de la base vectorial SIGPAC y convertirse de esta manera en una potente herramienta que permita realizar consultas complejas sobre el estado de las parcelas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Departamento de Agricultura, Alimentación y Acción Rural de la Generalitat de Catalunya por los datos facilitados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chavez, P.S. (1988): An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24: 459-479.

Convención RAMSAR sobre Humedales (1971): <http://www.ramsar.org/>.

Fasola, M. y Ruiz, X., 1996. The value of rice fields as substitutes for natural wetlands for waterbirds in the Mediterranean region. *Colonial Waterbirds* 19: 122-128.

Ibáñez, C. (1999): Integrated management of SPA of the Ebro delta: implications of rice cultivation for birds. *Proc. Conference on the Councils Directive on the Conservation of Wild Birds (20 years with the EC Birds Directive)*, Elsinore, Denmark, 18-19 November 1999.

Li, J. y Chen, W. (2005): A rule-based method for mapping Canada's wetlands using optical, radar and DEM data. *International Journal of Remote Sensing*, 26: 5051-5069.

Manly, B.F.J. (1994): *Multivariate Statistical Methods. A primer*, second ed., Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, Florida, USA.

Ozesmi, S.L. y Bauer, M.E. (2002): Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands Ecology and Management*, 10: 381-402.

Palà, V. y Pons, X. (1995): Incorporation of relief into geometric corrections based on polynomials. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61: 935-944.

Pons, X. y Solé-Sugrañes, Ll. (1994): A Simple Radiometric Correction Model to Improve Automatic Mapping of Vegetation from Multispectral Satellite Data. *Remote Sensing of Environment*, 48: 191-204.

- Serra, P., Moré, G. y Pons, X. (2006): Weighting fidelity versus classified area in remote sensing classifications from a pixel and a polygon perspective. En Caetano, M., Painho, M. (ed.) *Proceedings of Accuracy 2006*. Instituto Geográfico Português, Lisboa, pp: 406-416.
- Töyrä, J. y Pietroniro, A. (2005): Towards operational monitoring of a northern wetland using geomatics-based techniques. *Remote Sensing of Environment*, 97: 174-191.
- Zhao, G. y Maclean, A.L. (2000): A comparison of canonical discriminant analysis and principal component analysis for spectral transformation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66: 841-847.

Novillo Camacho, Carlos J.; Romero-Calcerrada, Raúl y Gómez-Jiménez, Inmaculada (2008): Dinámica de usos en una zona de especial protección para las aves: ciclos, intercambios y cambios netos. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 106-113. ISBN: 978-84-96971-53-0.

DINÁMICA DE USOS EN UNA ZONA DE ESPECIAL PROTECCIÓN PARA LAS AVES: CICLOS, INTERCAMBIOS Y CAMBIOS NETOS

Novillo Camacho, Carlos J.¹; Romero-Calcerrada, Raúl¹ y Gómez-Jiménez, Inmaculada²

(1) Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Universidad Rey Juan Carlos, C/Tulipán, s/n, 28933 Móstoles (Madrid), carlos.novillo@urjc.es, raul.romero.calcerrada@urjc.es

(2) Facultad de Ciencias y Artes, Universidad Católica de Ávila, C/Canteros, s/n 05005, Ávila, inmaculada.gomez@ucavila.es

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es explorar la dinámica de usos en la Zona de Especial Protección para las Aves 'Encinares del río Alberche y Cofio' entre los años 1984 y 1999. Para ello, se han elaborado mapas de ocupación del suelo de 1984, 1991 y 1999 a partir de imágenes Landsat TM5. Con estos mapas se ha elaborado una tabla cruzada con los diferentes tipos definidos, para cuantificar no sólo los cambios netos sino también los muy importantes intercambios.

Los resultados muestran que esta área protegida ha sufrido una dinámica de cambios de usos muy intensa, entre los que destacan un cambio neto mayor del 10% para los pastos y los matorrales, pero con signo opuesto. Las ocupaciones con matorral se han incrementado en general, indicando una disminución de la presión antrópica en el medio. El abandono de la agricultura y su recuperación, la disminución de la presión ganadera y la invasión de matorral, la limpieza del mismo, los incendios forestales, son cambios de uso de lo que parecen ser unos ciclos naturales-artificiales de gran complejidad de este territorio, y cuyas consecuencias merecen un estudio más detallado.

Palabras Clave: Procesos socio-ambientales, Dinámica Territorial, SIG

ABSTRACT

The goal of this study is to explore landscape dynamic in the SPA 'Encinares del río Alberche y Cofio' between 1984 and 1999. Categorical land cover maps were derived from three (1984, 1991 and 1999) remotely sensed Landsat TM images and a land-occupation dynamic cross-tabulation has been calculated to derive net changes and the very important swaps as well.

Results show that this protected area has suffered a very intensive land-occupation dynamic with a net change larger than a 10% for pastures and scrublands, but with opposite sign. Shrub occupations have increased, indicating less human press. Crop abandonment and recovering, grazing decrease and shrub invasion, cleaning scrub, and wildfires are intrinsic changes in the very complex natural-artificial cycles of this area, and their consequences deserve a more detailed study..

Keywords: Socio-environmental process, Landscape dynamic, GIS

INTRODUCCIÓN

En los últimos 50 años, se viene observando una serie de intensos cambios de usos por todo el Mediterráneo. El cambio económico y social producido en España en estos años, ha tenido como consecuencia una modificación sustancial de los paisajes poniendo en peligro la enorme riqueza biológica y cultural que estos territorios atesoran. Como reacción ante el deterioro y acompañando al aumento de sensibilidad ambiental, la creación de Espacios Naturales Protegidos vino en los años ochenta y noventa a intentar frenar el proceso de pérdida de valores naturales y garantizar el mantenimiento de la biodiversidad. La Red Natura 2000, impulsado desde Europa, debería haberse convertido en el adalid de la conservación de la naturaleza, con una gran parte del territorio español bajo esta cobertura legal. Sin embargo, la falta de instrumentos de planificación, de los que gran parte de los espacios protegidos adolece, impide un mayor control y regulación de las actividades realizadas en

tales espacios, vigiladas en su mayor parte por legislación transversal que no garantiza suficientemente la conservación de los valores naturales existentes.

Unido a la intensificación de las actividades humanas en el territorio con la importante amenaza sobre el medio natural que ello supone, el cambio socioeconómico producido se ve acompañado por todo lo contrario, con el abandono de las actividades tradicionales en el campo. Como estas actividades agrarias conformaban y mantenían la estructura y el funcionamiento del territorio, su abandono produce grandes modificaciones en diversos sentidos, con unas consecuencias que se tendrían que evaluar para comprobar si se garantiza o no la conservación de la riqueza biológica existente. La pérdida de cultivos, de pastizales, el aumento de los matorrales, la homogenización del territorio, pueden producir cambios en todo el funcionamiento ecológico.

ZONA DE ESTUDIO

Con una superficie de casi 83.000 ha, la Zona de Especial Protección para las Aves nº 56 “Encinares de los ríos Alberche y Cofio” se ubica en el suroeste de Madrid como se puede apreciar en la figura 1. Una de las zonas de mayor interés faunístico de Madrid, alberga algunas de las especies más características y amenazadas del monte mediterráneo, como el Águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*), la Cigüeña negra (*Ciconia nigra*), el Buitre negro (*Aegypius monachus*) e históricamente Lince ibérico (*Lynx pardina*).

Encinares y pinares de pino piñonero y resinero, componen las principales formaciones arbóreas. Al este se tienen grandes zonas de cultivos herbáceos, con dehesas cultivadas en parte. Como parte de la rampa serrana ganadera, en el noreste predominan los pastos con mayor o menor densidad de arbolado acompañante, generalmente rebollos o encinas.

En cuanto a la ocupación urbana, estos municipios han experimentado un gran aumento de zonas residenciales generalmente rodeando a los cascos históricos, contándose además con gran número de urbanizaciones exentas que han ido completándose con los años.

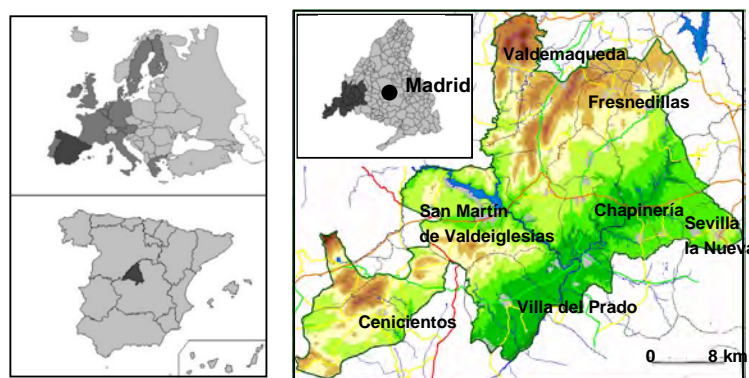


Figura 1. Situación de la zona de estudio

METODOLOGÍA

Para la elaboración de este trabajo, se ha contado con tres imágenes Landsat 5TM de 17/07/1984 , 06/08/1991 y 11/07/1999, rectificadas y proyectadas a UTM, con un error RMS menor a 1.5 píxeles. Con ellas se han elaborado los mapas de ocupación de las diferentes fechas con el método Para-ML {Romero-Calcerrada, 2004} resultando una precisión global de 79.48%, 71.54% y 80.52% respectivamente (Chuvieco, 1996). Las categorías diferenciadas son 15, ver tabla 1, en un intento de desagregar según presencia/ausencia de matorral para detectar ese posible cambio indicador de abandono o menor intensidad de uso.

Tabla 1. Ocupaciones diferenciadas y código asignado.

OCUPACIÓN	CÓDIGO
Canteras/graveras	CAN
Pinar denso	PIN-D
Pinar con matorral, enebro y otras especies	PIN-M
Pinar con pastos	PIN-P
Pastos	PAS
Láminas de agua	AGU
Fronosas caducifolias	FRO
Invernaderos	INV
Urbano	URB
Encinar arbustivo con otros matorrales	ENC-M
Encinar denso	ENC-D
Encinar abierto con pastos	ENC-P
Matorral con encinas	MAT
Áreas cultivadas	CUL
Incendios	INC

Para la estimación de cambios, se ha realizado una tabla cruzada de transición (Pontius et al., 2004) entre pares de fechas, en las que se calcula ganancias, pérdidas, cambio neto, e intercambio entre clases. De esta manera, se puede calcular el cambio total de usos en el territorio. Por otro lado, se ha procedido a una reclasificación de dichos cambios calificándolos según su sentido. Los valores reclasificados se detallan en la tabla 2:

Tabla 2. Reclasificación de cambios.

Tipología del cambio	Explicación
Recuperación del bosque	Paso a formaciones arbóreas más densas
Cambios en el bosque	Cambios de formación entre especies
Degradación del bosque	Paso a formaciones menos densas o de predominio del matorral
Recuperación de pastos	Cambio a pastizales por eliminación del matorral o aclareo del arbolado principalmente
Invasión del matorral	Aumento del matorral sobre todo al invadir zonas de pastizal
Abandono de la agricultura	Recuperación de la vegetación natural tras el abandono de la actividad agrícola
Recuperación de la agricultura	Zonas agrícolas sobre anteriores puntos de vegetación natural
Incendios	Zonas recientemente incendiadas
Nueva ocupación artificial	Nuevas zonas urbanas, embalses y canteras
Sin cambios	Permanencia de la ocupación de la anterior fechas

Por otro lado se han recogido los datos de los censos agrarios para cada municipio de los años 1984, 1989 y 1999 para analizar los cambios en la actividad agraria en fechas asimilables con las de las ocupaciones.

RESULTADOS

Los resultados de las tablas cruzadas muestran un intercambio entre clases de casi todas las categorías. Como se aprecia bien en la figura 2, los matorrales han pasado a ser la clase más abundante para la zona en 1999, en detrimento de los pastos que lo eran en 1984.

De los tipos de cubierta no artificial, sólo las frondosas caducifolias tienen una persistencia mayor del 50%, no obteniéndose valores similares si no se agrupan por ejemplo pinares o encinares.

En la tabla 3 se muestran los datos por clases para los cambios comparados 1984-1999. Destacan un cambio neto superior al 10% del territorio en pastos y matorrales, pero con signo opuesto. Las ocupaciones con matorral se han incrementado sustancialmente. Lo urbano se ha incrementado en un 44%, pasando de ser el 0.73% del territorio a ser un 1.05%. Este incremento se ha realizado básicamente a costa de pastizales y cultivos.

Si nos fijamos en los cambios por celdilla, como refleja la figura 3, el 79.07% de los puntos han experimentado algún cambio entre las tres fechas. Las zonas sin modificaciones son principalmente las grandes zonas de cultivos, los grandes embales y algunas zonas de monte o pastizales con arbolado. Si calculamos entre pares de fechas, los valores se encuentran entre el 50 y el 65% de los píxeles.

Tabla 3. Matriz resumen de cambios entre 1984 y 1999. Las cuatro primeras columnas son porcentajes del territorio y la última, porcentaje relativo a la superficie de esa clase en 1984.

OCUPACIÓN	GANANCIAS	PÉRDIDAS	CAMBIO TOTAL	INTER-CAMBIO	CAMBIO NETO	CAMBIO NETO EN % RESPECTO A 1984
Canteras/graveras	0.17	0.01	0.18	0.02	0.16	386.75
Pinar denso	1.86	2.38	4.24	3.72	-0.52	-14.05
Pinar con matorral, enebro y otras especies	7.07	4.14	11.21	8.28	2.93	37.17
Pinar con pastos	5.66	5.19	10.85	10.37	0.47	5.98
Pastos	5.84	20.43	26.27	11.68	-14.59	-55.85
Láminas de agua	0.07	0.19	0.26	0.14	-0.12	-23.22
Frondosas caducifolias	2.91	1.11	4.02	2.22	1.80	60.41
Invernaderos	0.01	0.03	0.04	0.01	-0.03	-29.86
Urbano	0.37	0.05	0.42	0.10	0.32	43.99
Encinar arbustivo con otros matorrales	6.82	4.32	11.14	8.65	2.50	42.65
Encinar denso	1.95	0.78	2.72	1.56	1.17	79.49
Encinar abierto con pastos	5.67	8.40	14.07	11.34	-2.73	-24.40
Matorral con encinas	21.12	8.39	29.51	16.78	12.73	78.51
Áreas cultivadas	4.63	8.72	13.35	9.25	-4.10	-26.75
Incendios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	64.14	64.14	128.29	84.13	44.16	

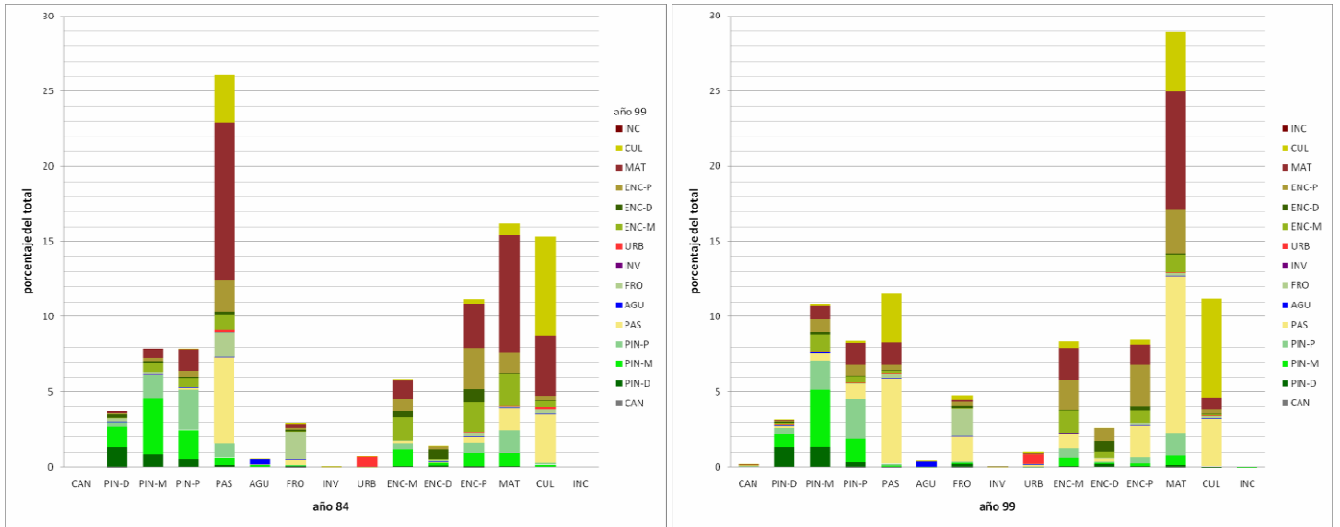


Figura 2. Porcentajes de cada clase en 1984 y 1999 y su distribución por clases en la otra fecha

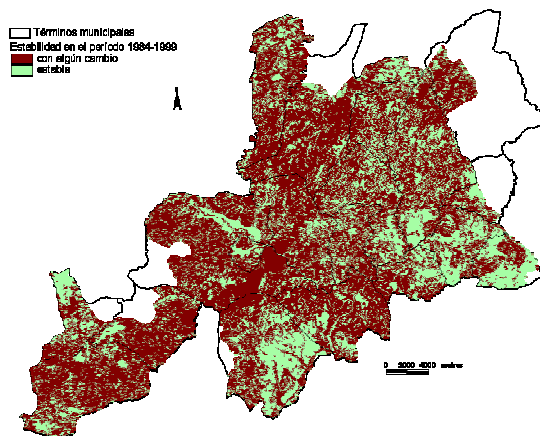


Figura 3. Celdillas con algún cambio entre las tres fechas

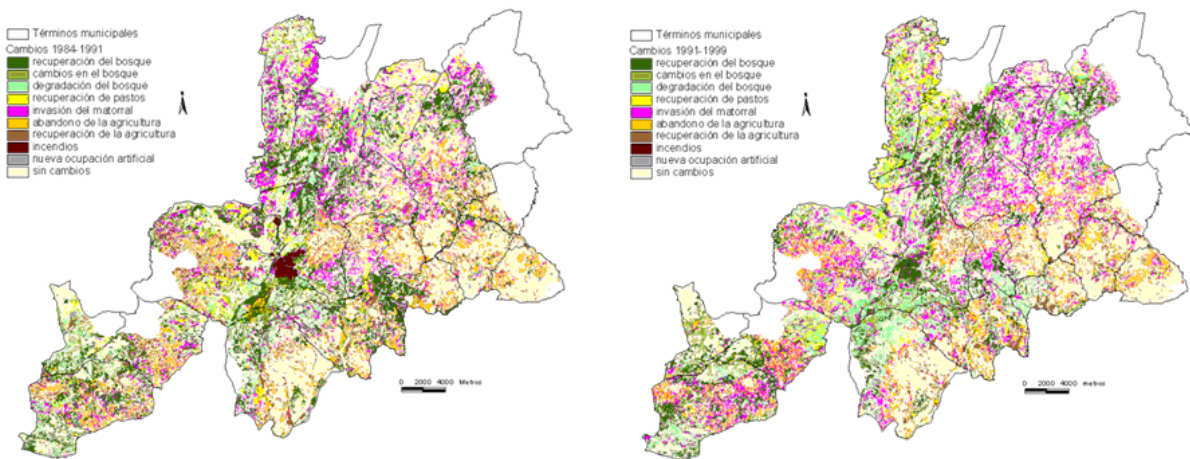


Figura 4. Tipologías de cambio entre 1984 y 1991, y 1991 y 1999

En cuanto a las tipologías de los cambios, figuras 4 y 5, en todos los municipios salvo los 6 más agrícolas de cultivos herbáceos, de 1984 a 1999 la invasión del matorral supera el 10% de sus superficies. También la recuperación del bosque supera ese 10% en 14 municipios, y en dos más supera el 8%. Los otros tres vuelven a ser los cerealistas situados al este, que son los que más estabilidad han mostrado. Todos estos cambios tienen un apoyo y un reflejo en lo que la estadística agraria señala. En estos años, se registra una disminución generalizada, en algunos casos dramática del número de explotaciones. Ocurre lo mismo con las tierras labradas. También se puede comprobar en la figura 6 como la superficie explotada ha caído enormemente en algunos municipios, no compensándose por haber sido contabilizada en municipios vecinos.

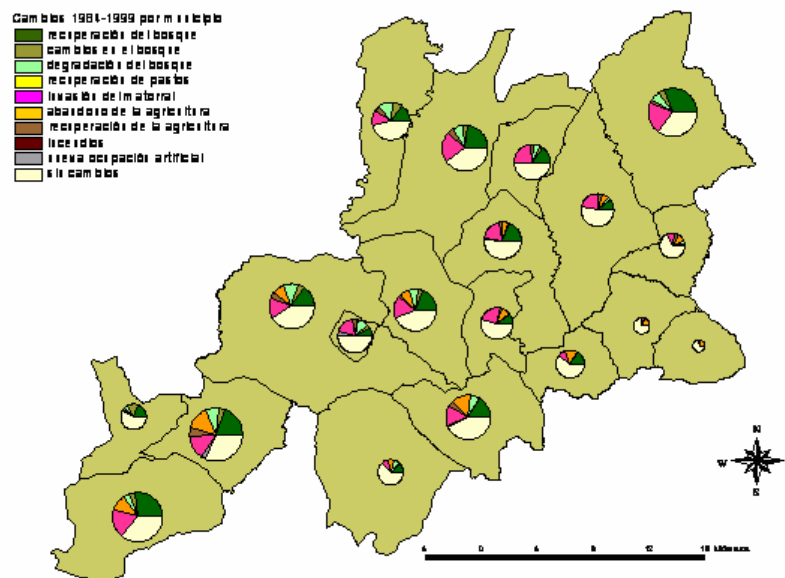


Figura 5. Tipologías de cambio entre 1984 y 1999. El tamaño de los círculos es proporcional a la superficie que cambia en cada municipio

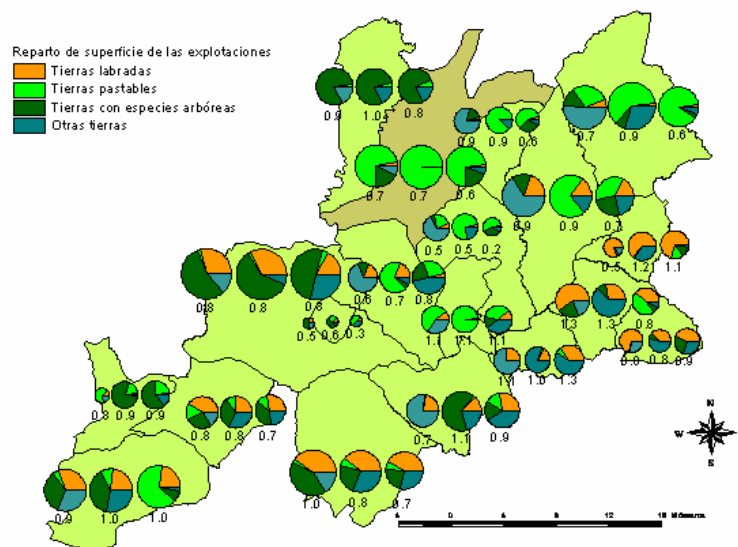


Figura 6. Cambios reparto de la superficie de las explotaciones en los anuarios agrario de 1982, 1989 y 1999. De izquierda a derecha se avanza en el tiempo y el tamaño del círculo es proporcional a la superficie de las explotaciones en cada municipio y fecha. El número inferior indica el porcentaje del municipio incluido en las explotaciones

DISCUSIÓN

La estimación de los cambios acaecidos en la ZEPA nº 56 “Encinares de los ríos Alberche y Cofio”, muestra un gran dinamismo territorial de cambios de ocupación en lo que parece ser un ciclo natural-artificial, detectado también en otros lugares (Shoshany, 2000) en el que intervienen todas las ocupaciones no artificiales.

Los errores de determinación, más elevados entre algunas clases de lo que el error global puede indicar, y los píxeles de borde, pueden explicar una parte de los cambios detectados, que no serían tales. Un estudio de los cambios directamente con las imágenes puede ayudar a mejorar los resultados, pero dada la magnitud de la dinámica detectada, no parece que sea explicación suficiente.

El abandono de cultivos, la disminución de la presión ganadera, la invasión de matorrales, la eliminación de los mismos para volver a cultivar o pastar y los incendios forestales son fenómenos presentes en este y otros territorios (Marchetti, 1995) que pueden explicar la gran cantidad de intercambios existente.

Sin embargo, se detecta una clara tendencia hacia la naturalización del medio debida a un abandono de las actividades agrarias existentes en la zona (Romero-Calcerrada, 2004), lo que hace necesario un estudio detallado de las relaciones entre los cambios detectados y la evolución socioeconómica del territorio (De Aranzábal et al 2008).

CONCLUSIONES

El estudio de la dinámica de cambios de esta zona protegida indica una gran cantidad de cambios de usos y ocupación que parecen dirigirse hacia una mayor naturalización del medio por un abandono de actividades agrarias. Sin embargo, se hace necesario una evaluación de hacia dónde se dirigen tales cambios y cuáles son las posibles influencias en la gran cantidad de valores naturales que este territorio atesora.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chuvieco Salinero, E. (1996): *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Ediciones RIALP. S.A., Madrid, 568 pp.
- De Aranzábal, I., Schmitz, M.F., Aguilera, P. y Pineda, F.D. (2008): Modelling of landscapes changes derived from dynamics of socio-ecological systems. A case study in a semiarid Mediterranean landscape. *Ecological indicators*, 8: 672-685.
- Instituto Nacional de Estadística (1982, 1989 y 1999): Censo agrario.
- Marchetti, M., Ricotta, C. y Volpe, F. (1995): A qualitative approach to the mapping of post-fire regrowth in Mediterranean vegetation with Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 16: 2487-2494.
- Pontius, R.J., Shusas, E. y McEachern, M. (2004): Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101: 251-268.
- Romero-Calcerrada, R. y Perry, G.L.W. (2004): The role of land abandonment in landscape dynamics in the SPA 'Encinares del río Alberche y Cofio' Central Spain, 1984-1999. *Landscape and Urban Planning*, 66, 4: 217-232.
- Shoshany, M. (2000): Satellite remote sensing of natural Mediterranean vegetation: a review within an ecological context. *Progress in Physical Geography*, 24 (2): 153-178.

Pérez, P.; Erena, M.; Paya D. I.; Rosa J.P.;García P.;Montesinos, S. y Bea, M. (2008): Empleo de la teledetección de alta resolución para el estudio de los daños por sequía en cítricos. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 114-120. ISBN: 978-84-96971-53-0.

EMPLEO DE LA TELEDETECCIÓN DE ALTA RESOLUCIÓN PARA EL ESTUDIO DE LOS DAÑOS POR SEQUIA EN CÍTRICOS

Pérez, P.(1); Erena, M. (1); Paya D. I. (1); Rosa J.P.(1);García P.(1);Montesinos, S.(2) y Bea, M.(2)

(1) Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA) Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. 30150. La Alberca. Murcia.

(2) Geosys S. L. Sector Foresta, 23. 28760. Tres Cantos. Madrid.

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados del análisis realizado para relacionar los posibles daños sufridos por cultivos cítricos en zonas afectadas por un fenómeno de sequía y la información multiespectral contenida en una imagen de alta resolución (35 cm/píxel) adquirida con la cámara multiespectral Leica ADS40.

El objetivo principal del estudio se ha centrado en la elaboración de una metodología basada en el uso de técnicas de observación de la Tierra adecuada para la determinación de los efectos producidos en zonas afectadas por estrés hídrico prolongado, incidiendo en su aplicación para la mejora de la gestión de las posibles pérdidas por sequía por parte de las entidades aseguradoras.

Para ello, se han estimado los daños producidos en cultivos agrícolas por la sequía, desarrollando unos criterios de selección a partir de los cuales se ha generado una clasificación estadística de los datos procedentes de la imagen multiespectral. Esto ha servido para obtener un gradiente de afeción por la falta de riego dentro del conjunto de parcelas de cítricos de la zona de estudio.

Palabras Clave: Teledetección, datos multiespectrales, sequía, daños, cítricos.

ABSTRACT

This paper introduces the results obtained for an analysis performed for the definition of the existent relationship between the agricultural damages produced in citric plots by a extended drought situation and multispectral data contained in a high resolution image (35 cm/pixel) acquired with the Leica ADS40 digital camera.

This study has been focused on the elaboration of a methodology based on the use of Earth observation techniques and useful for the determination of the effects produced over agricultural exploitations by a severe hydric stress. In this sense, an special emphasis has been made for the analysis of the potential application of this methodology in the improvement of the insurance companies management regarding economical losses caused by droughts.

Agricultural damages produced by a drought period have been estimated in order to develop selection criterions used for the generation of a statistic classification of the remote sensing data. This procedure has allowed to obtain a gradient over the citric crops plots within the study area that characterises trees condition caused by a lack of irrigation.

Key Words: Remote sensing, multispectral data, drought, crop damages, citric crops.

INTRODUCCION

La posición geográfica en la que se encuentra la península ibérica, unida a los indudables cambios experimentados en las constantes climáticas, hacen de nuestro territorio una zona de alta vulnerabilidad y extrema fragilidad ante los elementos meteorológicos, siendo la agricultura uno de los sectores más sensibles a estos cambios.

La época de sequía que se inició en el año 2005 afectó a todo el territorio nacional y especialmente a las cuencas hidrográficas del Sureste peninsular. La ausencia de lluvias, y de agua acumulada, provocó un período de carácter extremadamente seco, traduciéndose en un descenso de las precipitaciones que estuvieron en el intervalo del 10% de los años más secos del periodo 1947 – 2005, lo que ocasionó numerosos daños en la agricultura.

Con el avance y desarrollo de los nuevos sensores de captación de imágenes, que mejoran de manera extraordinaria la resolución espacial de las capturas y que aumentan en cantidad y calidad los datos obtenidos, se abre una novedosa línea de estudio, que entronca dentro de la denominada “agricultura de precisión”. Este nuevo concepto agronómico se basa en la gestión de parcelas agrícolas mediante el uso de tecnologías como los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), captación masiva de datos (teledetección) y el uso combinado de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que nos ayudan a estimar, evaluar y entender las variaciones de los datos obtenidos (Chartuni, E. 2007).

En el presente trabajo se pretende utilizar una metodología basada en técnicas de clasificación estadística, acorde a los conceptos de agricultura de precisión, mencionados anteriormente, para estimar los daños producidos en cultivos agrícolas por la sequía, desarrollando unos criterios de selección en los que se pueda generar una clasificación estadística de los datos procedentes de la imagen para obtener un gradiente de afección por la falta de riego en los cultivos de cítricos en la zona de estudio.

ZONA DE ESTUDIO

Para este trabajo se ha seleccionado una parte de la zona norte del municipio de Santomera, localizado en la parte Este de la Región de Murcia (imagen 1), que se caracteriza por ser un área de gran importancia en el cultivo de cítricos en regadío. Dentro de este espacio se ha seleccionado una superficie compuesta por parcelas con cultivos de limoneros, extraídas de la cobertura de suelos agrícolas, pertenecientes al Sistema de Información Geográfica de apoyo a la elaboración de la Estadística Agraria de Murcia (SIGEAM) realizado por el IMIDA, obteniéndose una superficie total de 410,6 hectáreas.

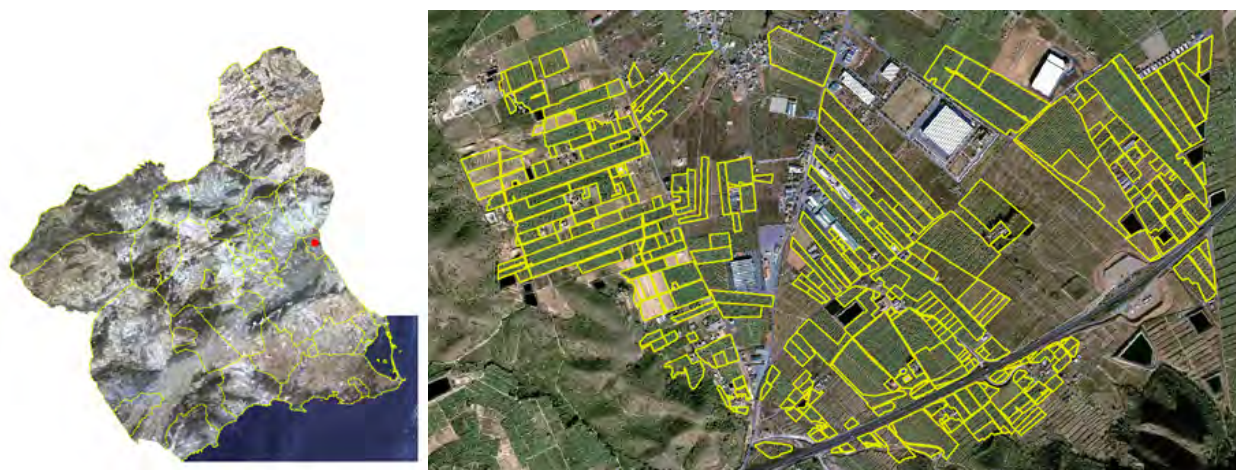


Figura 1. Situación dentro de la región de Murcia y vista general de la zona de estudio.

METODOLOGÍA

Los datos que se han utilizado en el proceso se han generado a partir de un vuelo, realizado el 3 de Julio de 2007. La cámara utilizada para la captura de imágenes ha sido la Leica ADS40 transportada en un avión tipo Partenavia P68C, lográndose una resolución espacial para la imagen de 35 cm y radiométrica de 16 bits por

píxel. Las imágenes obtenidas cuentan con información espectral dentro de las bandas del visible y del infrarrojo cercano.

Los análisis realizados se han efectuado siguiendo los pautas de una clasificación supervisada, siendo esta técnica un método más controlado por el usuario que otros tipos de clasificación automáticos (Di Gregorio, A. 2000). En este proceso, se pueden seleccionar los píxeles que representan patrones que el sistema informático reconoce o que puede identificar con la ayuda de otras fuentes. Por este motivo, se requiere un conocimiento previo de los datos, las clases a seleccionar y los algoritmos a utilizar, antes de empezar a seleccionar las muestras de entrenamiento.

Para la valoración de los daños producidos por la sequía en las parcelas seleccionadas para este trabajo se han estimado cuatro clases o grados de afección por la falta de agua de acuerdo a las necesidades de los cultivos:

- Un primer grado de afección, en la que el cultivo se encuentra en condiciones óptimas de producción.
- Un segundo grado, donde el cultivo, a pesar de tener ciertos problemas de desarrollo vegetal por la falta de riegos puntuales, se encuentra en condiciones aceptables dentro del proceso de crecimiento.
- Un tercer grado, en la que los cultivos se ven claramente afectados por la falta de agua, mostrando elementos claramente visibles de pérdida de masa foliar y producción.
- Y finalmente un cuarto grado de afección, en el que se incluyen los cultivos que han sobrepasado el umbral de resistencia a la sequía, apareciendo como árboles secos y sin cobertura foliar.



Árbol con grado de afección 1



Árbol con grado de afección 2



Árbol con grado de afección 3



Árbol con grado de afección 4

Figura 2. Ejemplo de grados de afección en cítricos.

Siguiendo estos criterios, se han obtenido en campo 73 puntos de control de los diferentes grados de afección. La toma de la información se realizó durante los días 22, 23 y 25 de enero de 2008, con la utilización de un GPS para la localización de las parcelas y cámara fotográfica para la toma de imágenes que posteriormente fueron analizadas. Estos puntos de campo se han estudiado para valorar cuales de ellos son los

que mejor se adaptan al rango de valores que conforma el patrón espectral de cada una de las clases, obteniéndose un total de 30 zonas de control.

En este proceso, beneficiándonos de la alta resolución que aporta la imagen, se ha extraído información exclusivamente de las copas de los cultivos, eliminando datos provenientes de la zona de suelo, lo que nos ayuda a conseguir una información muy homogénea desprovista de “ruido” o datos que no concuerdan con dicha clase. Siguiendo estos pasos, se han obtenido una serie de polígonos (imagen 2) que definen las características espectrales de los cuatro grados de afección elegidos.



Figura 3. Áreas de entrenamiento obtenidas en campo.

Para determinar la bondad o validez de las áreas de entrenamiento seleccionadas, se ha realizado un cálculo de separabilidad entre las firmas espectrales, proceso que analiza la distancia estadística entre esta información, estableciendo la existencia o no de una diferencia suficiente entre los datos muestrales, lo que nos asegura una considerable fiabilidad en la fase de asignación.

El último paso de este método, es la realización de una clasificación estadística supervisada. Este paso implica categorizar una imagen multibanda en términos estadísticos, lo que supone reducir la escala de medida de una variable continua (niveles digitales - ND), a una escala nominal o categórica. La imagen multibanda se convierte en otra imagen en donde los ND que definen cada píxel no tienen relación con la radiancia detectada, sino se trata de una etiqueta que identifica la categoría asignada a ese píxel (Chuvieco, 1996). En este caso se ha utilizado una regla de decisión paramétrica en el proceso de clasificación, utilizando criterios de asignación de máxima probabilidad. Este clasificador es el más seguro, ya que se ajusta con mayor rigor a la disposición original de los datos (Speranza F. C.).

RESULTADOS

Para la elaboración de las áreas de entrenamiento se han definido una serie de polígonos que contienen la información de los diferentes grados de afección del cultivo (figura 2) y que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1. Superficie de las áreas de entrenamiento.

Grado de afección	Nº de polígonos	Superficie (m ²)
Grado 1	76	1.005
Grado 2	45	773
Grado 3	36	357
Grado 4	24	246
Total	181	2.381

De esta manera, se han adquirido los valores de los niveles digitales de la imagen en estas áreas, obteniéndose un histograma modelo para cada categoría. En el análisis de separabilidad, que en este caso se ha utilizado el de distancia euclidiana (tabla 2), se ha obtenido un índice muy apropiado entre la clase suelo y el resto de clases. A su vez, el índice de separabilidad entre las clases Grado 1 y Grado 4, también ha resultado bastante aceptable. Solo las clases Grado 2 y Grado 3 muestran unos valores similares, que pueden producir ciertos problemas en el proceso de asignación de los píxeles de la imagen a las categorías elegidas. Para una mejor interpretación de los datos se presenta la información en la siguiente gráfica (grafica 1).

Es conveniente comentar que se han elaborado una serie de algoritmos para la obtención de los valores de la categoría suelo. Pero debido a su alta heterogeneidad, ha resultado muy complicada su categorización, por lo que definitivamente se ha optado por su inclusión en el proceso de clasificación.

Tabla 2. Distancia Euclidiana entre las medias de las firmas.

Categoría	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	Suelo
Grado 1	0	1030,54	1282,51	2827,76	4086,06
Grado 2	1030,54	0	265,81	1798,05	3891,60
Grado 3	1282,51	265,81	0	1550,30	3795,47
Grado 4	2827,76	1798,05	1550,30	0	4125,35
Suelo	4086,06	3891,60	3795,47	4125,35	0

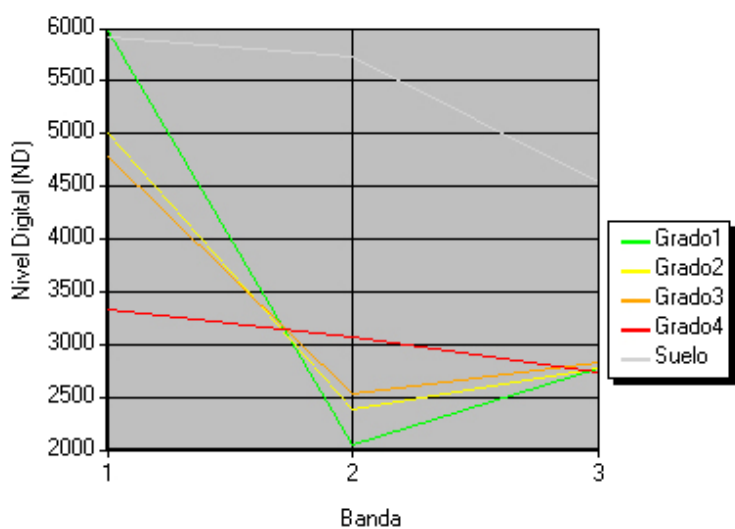


Figura 4. Análisis del índice de separabilidad.

En el examen realizado a la información extraída del índice de separabilidad podemos interpretar que la similitud de las clases Grado 2 y Grado 3 se debe a que los datos obtenidos en campo para la asignación de estas categorías, sigue unos criterios de interpretación del estado del cultivo, lo que introduce un elemento de subjetividad que aumenta en las clases donde el umbral de cambio entre estas categorías es menos perceptible que en las correspondientes a cultivos secos o a cultivos en condiciones óptimas de producción. A esto, hay que sumar el desfase de algunos meses entre la fecha de adquisición de la imagen y la fecha de la toma de datos en campo, lo que genera que en estas clases más próximas, los pequeños cambios en el estado de la planta sean más susceptibles. Por lo que para sucesivos trabajos, se puede mejorar la selección de las clases con criterios más restrictivos, además de individualizar los valores de afección a nivel de árbol, en vez de parcelas.

Los resultados de la clasificación supervisada, expuestos en la siguiente figura (imagen 3), nos muestran los valores asignados de los niveles digitales de la imagen original en las diferentes categorías seleccionadas previamente.



Figura 5. Resultado de la clasificación en grados de afección.

La clasificación realizada sobre una superficie total de 410,6 ha de cultivos de cítricos, nos ofrece los siguientes resultados (tabla 3). En este análisis se ha introducido la superficie correspondiente a suelo desnudo en cada parcela, como elemento para la estimación del área de copa de los árboles.

En la primera categoría, perteneciente a los cultivos en perfecto estado de producción, nos encontramos que superan el 11% de la superficie total de la parcela, y se acercan al 50% de la superficie correspondiente al área de copa de los cultivos. En la categoría de grado 2 el porcentaje de superficie total es de algo más de 7%, llegando al casi 30% de superficie en copa, siendo el de 4,7% y 18,87 de la categoría grado 3. Finalmente, los porcentajes de superficie ocupada por la categoría grado 4, relacionados con los cultivos en desarrollo vegetativo deficiente y en estado defoliado, representan el 1% en la superficie total de la parcela y un 4% de superficie en copa.

Tabla 3. Superficies obtenidas por grados de afección.

GRADO AFECCIÓN	SUPERFICIE AFECCIÓN (m ²)	SUPERFICIE (%)	SUPERFICIE DE COPA (%)
Grado 1	492.682,64	12,00	48,21
Grado 2	295.427,38	7,19	28,91
Grado 3	192.866,84	4,70	18,87
Grado 4	41.038,29	1,00	4,02
Suelo	3.084.204,84	75,11	0,00
Total	4.106.219,98	100,00	100,00

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La disponibilidad de imágenes de alta resolución resulta imprescindible para el desarrollo de este tipo de trabajos, tanto para la clasificación del estado de afección individualizado por árbol, como para la correcta segmentación de la línea de suelo de la del cultivo de cítricos.

La clasificación de las clases de grado 1 y grado 4 se realizó de manera satisfactoria. Se encontraron más dificultades en la diferenciación de los cultivos pertenecientes a las clases de grado 2 y 3, debido a la alta heterogeneidad de los cítricos con respecto a los daños sufridos. Por lo que, en trabajos posteriores, sería conveniente segmentar en más categorías estos rangos.

Para concluir, y atendiendo a los resultados obtenidos, podemos afirmar que la utilización de imágenes de alta resolución pueden ser de gran utilidad en la discriminación de áreas de cultivo afectadas por la falta de recursos hídricos.

Este trabajo se ha realizado dentro de las actividades del proyecto Precirieg, enmarcado en el Programa Europeo de cooperación interregional SUDOE, en colaboración con Agroseguro.

BIBLIOGRAFÍA

Chartuni, E.; Carvalho, F. de A.; Marcal, D. y Ruz, E. (2007): Agricultura de precisión: nuevas herramientas para mejorar la gestión tecnológica en la empresa agropecuario.

Chuvieco, Emilio (1996): Fundamentos de Teledetección Espacial. 3ª Edición revisada. Madrid, España.

Speranza F. C. y Zerda, H.R.: Clasificación digital de coberturas vegetales a partir de datos satelitales multiespectrales

Di Gregorio, A. y Jansen, L.J.M. (2000): "Land Cover Classification System (LCCS), classification concepts and user manual", FAO, Roma.

Plata Rocha, Wenseslao; Gómez Delgado, Montserrat y Bosque Sendra, Joaquín (2008): Análisis de factores explicativos del crecimiento urbano en la comunidad de Madrid a través de métodos estadísticos y SIG. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 121-134. ISBN: 978-84-96971-53-0.

ANALISIS DE FACTORES EXPLICATIVOS DEL CRECIMIENTO URBANO EN LA COMUNIDAD DE MADRID A TRAVES DE METODOS ESTADISTICOS Y SIG

Plata Rocha, Wenseslao¹; Gómez Delgado, Montserrat² y Bosque Sendra, Joaquín³

(1) Alumno del doctorado en Cartografía, SIG y Teledetección del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá de Henares. Calle Colegios, N ° 2. Alcalá de Henares Madrid 28801, España. wenseslao.plata@alu.uah.es.

(2) Profesor titular del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá de Henares. Calle Colegios, N ° 2. Alcalá de Henares Madrid 28801, España. montserrat.gomez@uah.es.

(3) Catedrático del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá de Henares. Calle Colegios, N ° 2. Alcalá de Henares Madrid 28801, España. joaquin.bosque@uah.es.

RESUMEN

Este trabajo presenta un análisis de los posibles factores explicativos del crecimiento urbano en la Comunidad de Madrid durante el período 1990-2000. Específicamente se analizan las categorías estructura urbana laxa, urbanizaciones exentas, zonas industriales y comerciales y zonas en construcción establecidas en la cartografía de usos del suelo Corine Land Cover. Como factores explicativos del cambio se tomaron variables socioeconómicas, biofísicas, de planificación legal, políticas y de proximidad/accesibilidad, especializadas a nivel municipal. Por su parte el análisis entre las variables explicativas y el crecimiento urbano se llevó a cabo a través de técnicas estadísticas de regresión lineal múltiple y de mínimos cuadrados parciales. Los resultados obtenidos del ajuste de los modelos mostró la relevancia de algunas variables en la explicación de la localización del crecimiento de las zonas urbanas analizadas.

Palabras Clave: crecimiento urbano, variables explicativas, regresión lineal múltiple, regresión de mínimos cuadrados parciales, Madrid.

ABSTRACT

This work presents an analysis of the possible explanatory factors of the urban growth in the Community of Madrid during the period 1990-2000. Specifically the categories analyze urban lax structure, exempt urbanizations, industrial and commercial parks and zones in construction established in the cartography of uses of the soil Corine Land Cover. Since explanatory factors of the change took socioeconomic variables, biophysics, legal planning, political and proximity / accessibility, using municipal level. The analysis between the explanatory variables and the urban growth was carried out across statistical techniques of linear multiple regression and partial least squares analysis. The results obtained of the adjustment of the models showed the relevancy of some variables in the explanation of the location of the growth of the urban analyzed zones.

Key Words: urban growth, land use change drivers, partial least squares regression, multiple linear regression, Madrid.

INTRODUCCIÓN

Históricamente el crecimiento de las ciudades estaba determinado por el aumento de la población. Sin embargo, en la actualidad y en lugares donde hay poca o ninguna presión demográfica, existe otra variedad de factores que influyen en su crecimiento (EEA, 2006).

Esta dinámica de crecimiento urbano está provocando importantes cambios de usos del suelo, ocasionando como consecuencia una enorme presión sobre el territorio y sus recursos naturales, sobre la calidad de vida de las personas y sobre la sostenibilidad global del planeta (OSE, 2006). Es de gran importancia, por tanto, estudiar

los patrones de crecimiento de las nuevas zonas urbanas y analizar los factores que inciden en el mismo a través del análisis espacial cuantitativo de las relaciones entre diversas variables (socioeconómicas, biofísicas, de accesibilidad, etc.).

En los últimos años se han desarrollado diversos estudios para establecer esa relación entre distintas variables de índole socioeconómico, biofísico y de accesibilidad y el crecimiento urbano, a partir de la aplicación de distintos métodos estadísticos (Bocco et al, 2000; Hoshino, 2001; Cheng y Masser, 2003; Verburg et al, 2004; Conway, 2005; Pan y Bilsborrow, 2005; Serra et al, 2005; Hu y Lo, 2007; Yang et al, 2007). Asimismo, Lesschen et al, (2005) en el informe número 7 del programa Land Use and land Cover Change (*LUCC*), proporciona una amplia descripción de técnicas estadísticas y empíricas utilizadas en el análisis espacial de cambios de usos y coberturas del suelo.

En general encontramos que una buena parte de estos estudios se realizan a nivel municipal o alguna delimitación a nivel regional, utilizándose predominantemente métodos de análisis multivariante (Yang et al, 2007; Serra et al, 2005; Bocco et al, 2000).

En este sentido la regresión lineal múltiple (RLM) es habitualmente utilizada como método para relacionar el cambio de un determinado uso del suelo y ciertas variables que pueden estar incidiendo en el mismo. Sin embargo, esta técnica requiere que se cumplan algunos requerimientos que no se adaptan a las características intrínsecas de la información espacial y que pueden limitar la implementación de este tipo de modelos.

La regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS por sus siglas en inglés) podemos decir que viene a paliar, en cierto modo, las limitantes presentadas por la RLM. Esta técnica es ampliamente aplicada en ciencias como la Quimiometría (Davies, 2001; Wold et al, 2001; Garimella et al, 2005). Sin embargo, hasta la actualidad no ha sido considerada ampliamente en investigaciones de ámbito territorial, aunque en los trabajos pioneros de Aguilera y Garrido (2001) y Yang et al (2007) se han obtenido resultados bastante satisfactorios. Dicha técnica presenta propiedades interesantes para su aplicación con información geográfica, por mencionar algunas: a) las variables pueden y deben tener altos grados de correlación, y b) se puede ajustar los modelos con un mínimo de observaciones.

En resumen este trabajo tiene como objetivos determinar los factores que expliquen de forma cuantitativa la localización de las nuevas superficies artificiales en la Comunidad de Madrid, así como discutir la aplicación de dos métodos estadísticos (RLM y PLS) en el análisis del crecimiento urbano, utilizando como unidad espacial de observación el municipio.

ÁREA DE ESTUDIO Y DATOS

La Comunidad de Madrid se localiza en el centro de España y limita con las provincias de Guadalajara, Cuenca, Toledo, Ávila y Segovia (figura 1). Se encuentra conformada por 179 municipios en una extensión territorial de 8.025 km². Su población estimada es de aproximadamente 6 millones de habitantes, gran parte de la cual se concentra en el área metropolitana, aunque a partir de la década de 1990 se evidenciaron fuertes procesos de descentralización hacia algunos municipios del oeste, norte y sureste de la región.

En este contexto la Comunidad de Madrid se consolida como uno de los territorios de mayor dinamismo del arco mediterráneo, con un crecimiento de las superficies artificiales aproximado del 48 % durante la década de los 90, muy por encima del 25% de crecimiento medio registrado en el territorio nacional y del 5,4% de la Unión Europea (EEA, 2006; OSE, 2006). En este sentido las zonas urbanas han aumentado en 14.310 ha, de las cuales el 80 % corresponde al tejido urbano discontinuo.

La elección de las variables o factores explicativos de este fenómeno de expansión urbana se realizó tomando en consideración la literatura existente sobre este tipo de análisis y la disponibilidad de información de la región para llevarlo a cabo. De este modo, como variables explicativas, y tomando como referencia el año 1990, se recopiló información de hasta 31 variables diferentes de tipo socioeconómico, político, de planificación, proximidad/accesibilidad y de tipo biofísico (tabla 1).

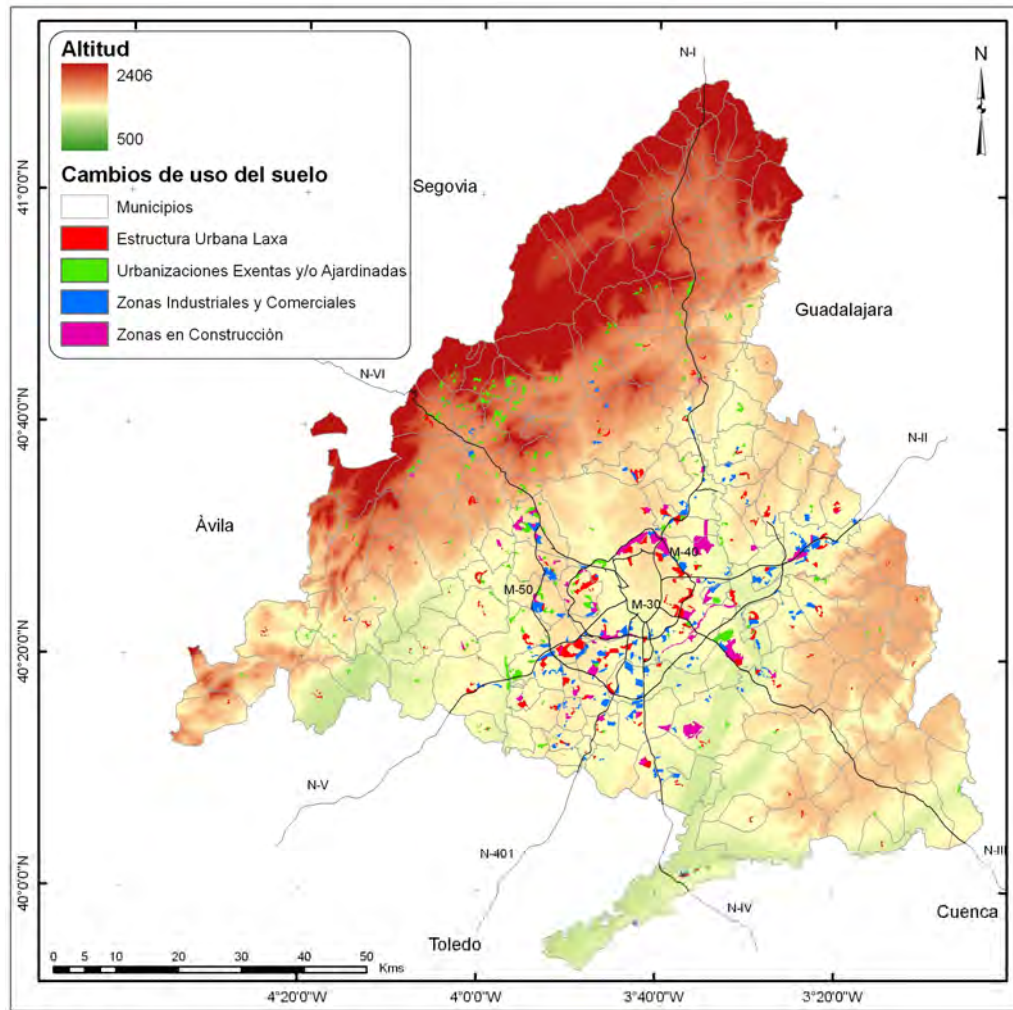


Figura 1. Crecimiento urbano en la Comunidad Autónoma de Madrid (1990-2000)

Las unidades de observación empleadas en este trabajo son los municipios madrileños. Las razones para utilizar este tipo de unidad de observación son las siguientes:

La dinámica de la ocupación del suelo (y más en concreto el crecimiento urbano) se puede suponer que responde, como mínimo, a dos tipos de influencias: en primer lugar las características físicas del terreno: seguramente, en un terreno muy elevado y con mucha pendiente, no es adecuado ni demasiado rentable la construcción de nuevas zonas residenciales. Este tipo de influencias se deben medir a un nivel de mucho detalle espacial ya que estas características pueden variar rápidamente en el territorio. Por ello, en la literatura sobre el tema es muy habitual encontrar estudios que emplean como unidad de observación el píxel, normalmente de un tamaño muy reducido y, por lo tanto, adecuado para observar estas variables explicativas.

Un segundo tipo de influencias sobre el crecimiento urbano son las características sociales y económicas y, también, los hechos legales y administrativos que inciden en donde es más rentable construir y donde es posible hacerlo desde el punto de vista legal. ¿En qué tipo de unidades espaciales es mas adecuado medir este tipo de influencias explicativas del crecimiento urbano?, seguramente es razonable contestar que, en España, en los municipios. Estas divisiones administrativas tienen una dinámica económica peculiar y particular derivada de la existencia de un gobierno municipal que, con diversos procedimientos puede impulsar, en mayor o menor grado, el crecimiento económico y la construcción más o menos importante de nuevas zonas residenciales.

Tabla 1. Descripción de las variables dependientes e independientes utilizadas en el ajuste del modelo. Todas las variables que miden crecimientos o cambios se refieren al periodo 1990-2000. Las variables que muestran un valor se refieren al año 1990.

Tipo de Variable	Nombre de la variable	Descripción
Crecimiento de zonas Urbanas	GEUL	Crecimiento de la categoría estructura urbana laxa (%)
	GUEA	Crecimiento de la categoría urbanizaciones exentas y/o ajardinadas (%)
	GZIC	Crecimiento de la categoría zonas industriales y comerciales (%)
	GZC	Crecimiento de la categoría zonas en construcción entre (%)
	G4	Crecimiento de la categoría 4 categorías anteriores (%)
Socio-económicas	DensPob	Densidad de población (1990)
	CrecPob	Incremento Población
	CrecEmp	Incremento Empleos
	PIncrViv	Incremento de número de viviendas (%)
	PIncrRenBruta	Incremento de renta bruta (%)
	DensCar	Densidad de carreteras (todas)
Planificación	DensCar	Densidad de carreteras (todas)
	Denscarnaco	Densidad de carreteras Nacionales y regionales
Políticas	Purbaniza	Porcentaje de superficie urbanizable
	Pcom	Porcentaje de suelo no urbanizable común
Políticas	Pvotoizq	Porcentaje de votos obtenidos por los partidos de izquierda en 1995 ¹
	Ayunizq	Ayuntamientos potencialmente gobernados por partidos de izquierda ²
Proximidad/ Accesibilidad	DMCar	Distancia Media a Carreteras
	DMcarnaco	Distancia media a carreteras Nacionales y regionales
	DMHosp	Distancia Media a Hospitales de referencia
	DMCom	Distancia Media a grandes superficies comerciales
	DMUniv	Distancia Media Universidades
	DMInstND	Distancia Media Instalaciones no deseables
	DMBosq	Distancia Media a Bosque
	DMHid	Distancia Media a hidrografía
	DMANatur	Distancia Media a áreas naturales protegidas
DistCentNeg	Distancia media al CBD de Madrid	
Biofísicas	PPCVBosq	% de píxeles en la cuenca visual de bosques
	PPCVHum	% de píxeles en la cuenca visual de humedales
	PPANatur	% de píxeles de espacios naturales protegidos
	PPCVANatur	% de píxeles en la cuenca visual de espacios naturales protegidos
	PPOSur	% de píxeles con orientación Sur-suroeste
	PPCPMe3	% de píxeles con pendiente < 3%
	PPCPe3y6	% de píxeles con pendiente entre 3 – 6%
	PPCAME800	% de píxeles con altitud entre 0 – 800 metros.
	PPCAe801y1000	% de píxeles con altitud entre 801 - 1000 metros.
	PPCAMa1201	% de píxeles con altitud entre 1001- 1200 metros.

¹ Porcentaje de votos a Izquierda Unida y PSOE

² Ayuntamientos en los que la suma de los votos a Izquierda Unida y PSOE supera el 45%.

En este trabajo vamos a emplear este segundo tipo de unidades espaciales, de observaciones, pero, como se verá, en ellas vamos a medir no solo las variables sociales y legales que consideramos pertinentes, sino también las variables físicas, aunque estas últimas se miden de un modo bastante aproximado mediante valores promedio de todo el territorio municipal.

METODOLOGÍA

Regresión lineal múltiple

Se establecieron un total de 5 variables dependientes (las cuatro categorías mencionadas en el apartado anterior, ver figura 1, y una quinta resultado de sumar todas ellas, G4), expresadas como porcentaje de crecimiento respecto a la superficie total de cada municipio. Analizadas estas variables, se procedió a su normalización a través de una transformación logarítmica de la forma $\ln(y_i + 1)$ (Menard, 2002, p. 77; Montgomery et al, 2005, p. 156), debido a que una gran cantidad de municipios no presentaba valores de crecimiento urbano lo cual ocasionaba problemas de no normalidad de la distribución de frecuencias.

Una vez recopiladas todas las variables independientes se realizó un análisis de correlación, omitiendo una de cada dos que presentaban correlaciones bivariadas mayores de 0,8, con el fin de disminuir posibles problemas de multicolinealidad (Cheng y Masser, 2003; Bocco et al, 2000).

A continuación, se procedió al ajuste de 5 modelos de regresión lineal múltiple (uno para cada variable dependiente), introduciendo en cada uno de ellos un número de casos igual al total de municipios ($N = 179$). La presencia de multicolinealidad se certificó a través del índice de tolerancia y del factor de inflación de la varianza (FIV)³ y la autocorrelación con el estadístico de Durbin-Watson (DW)⁴.

Los modelos lineales de regresión múltiple tienen la siguiente forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \dots + \beta_n \cdot X_n + u$$

Los coeficientes β_1, \dots, β_n muestran la magnitud del efecto que las variables explicativas X_1, \dots, X_n tienen sobre la variable explicada Y . El coeficiente β_0 es el término constante del modelo y u el término del error del modelo.

Como medida de calidad de ajuste del modelo se utilizó el coeficiente de determinación corregido \bar{R}^2 , de tal forma que cuanto mayor sea el coeficiente de determinación, mejor será el modelo.

Regresión por mínimos cuadrados parciales

Para salvar los inconvenientes que plantea el uso del RLM, se han desarrollado metodologías basadas en la eliminación de variables independientes (métodos de selección de variables), o basadas en la reducción de la dimensionalidad de las variables a través de factores o componentes principales.

Estas metodologías tienen problemas: las primeras podrían eliminar variables fundamentales para la explicación del cambio, mientras que en las segundas es posible que los componentes o factores seleccionados expliquen sustancialmente la variabilidad de las variables independientes X , pero eso no garantiza que sean relevantes al explicar la variable dependiente Y .

La metodología PLS, busca un conjunto de factores o variables latentes que ajusten una descomposición simultánea de X y Y bajo la condición de que éstos expliquen tanto como sea posible la covarianza entre X y Y y

³ Índices de Tolerancia menores que 0.2 y FIV mayores a 5 son indicios de problemas de multicolinealidad; un Índices de Tolerancia menores a 0.1 y FIV mayores a 10 se manejan como posibles causas de multicolinealidad (Menard, 2002, p. 77).

⁴ Para detectar problemas de autocorrelación se puede adoptar la regla, no demasiado rigurosa, de que si $DW = 0$ hay autocorrelación perfecta positiva; si DW se aproxima a 2 no hay autocorrelación y si DW se aproxima a 4 hay autocorrelación perfecta negativa

que dicha descomposición sea eficaz para ajustar a Y (Alciaturi et al, 2005; Aguilera Aguilera y Garrido Fre-nich, 2001; Wold et al, 2001; Yang, Z. et al. 2007;).

Básicamente, el modelo PLS se establece como una representación de la matriz X en términos de los facto-res T mediante la siguiente expresión:

$$X = T \cdot P^T + e$$

Siendo P^T la matriz transpuesta de P (pesos de los factores).

Y la relación entre las variables dependientes Y y los factores T se establece por:

$$Y = T \cdot b + f$$

Consecuentemente la matriz de variables independientes X queda expresada por la matriz de factores T con un error (e) determinado en función del número de factores seleccionados. No obstante si el modelo incluye todos los factores resultantes de las combinaciones lineales el error sería cero ($e = 0$).

Asimismo los coeficientes de los factores b son obtenidos de modo que se minimice el error f .

Existen diferentes procedimientos, basados en procesos iterativos, para determinar la relación entre los factores T y la variable respuesta Y . Con ellos es posible obtener los coeficientes β_{PLS} a través del siguiente modelo de regresión lineal múltiple:

$$Y = X \cdot B_{PLS} + e .$$

$$\text{Donde: } B_{PLS} = (P^T)^{-1} \cdot B \cdot C^T$$

Por consiguiente si se toman en cuenta todos los factores al obtener los coeficientes β_{PLS} , éstos pueden ser comparados con los coeficientes derivados del modelo de regresión lineal múltiple β_{RLM} . Es posible determinar la cantidad total de varianza explicada por los modelos a través del coeficiente R^2 .

RESULTADOS

Resultados de la RLM

Los resultados del ajuste de los 5 modelos de regresión múltiple se muestran en la figura 2 y la tabla 2. Pa-rra cada modelo sólo aparecen las variables que fueron finalmente seleccionadas a un 95% de confianza (p -valor < 0.05). Asimismo, se representan los coeficientes estandarizados con la finalidad de valorar de forma mas clara la explicación que cada variable independiente tuvo en los modelos ajustados.

En primer lugar, comprobando los valores del estadístico *Durbin Watson* (DW) y del factor de inflación de la varianza (FIV) (tabla 2) se puede descartar posibles problemas de autocorrelación y multicolinealidad en to-dos los modelos obtenidos.

En cuanto a la calidad del ajuste de los cuatro modelos, observamos que los resultados son algo bajos a ex-cepción del estimado para las zonas industriales y comerciales. Sin embargo, se incrementa notablemente cuan-do agrupamos todas las categorías, llegando hasta el 73% de la explicación de la variabilidad del modelo.

En segundo lugar, comprobamos que existe una gran variedad en cuanto a las variables que resultan signi-ficativas en unos y otros modelos, pues en la mayoría de los casos sólo han sido seleccionadas 5 ó 6 variables de las 19 finalmente retenidas, siendo el modelo que agrupa a todas las categorías el que aglutina un número mayor de ellas (11).

En este sentido es de destacar que la única variable que resulta significativa para todos los modelos es la densidad de población. El porcentaje de suelo urbanizable disponible en 1990 y la distancia al centro de Madrid son también significativos para prácticamente todos los modelos tratados. De hecho esta última no lo es exclusi-vamente en el caso del crecimiento de urbanizaciones exentas y/o ajardinadas y sin embargo hubiera sido espe-

rable puesto que muchas de esas urbanizaciones se han convertido en residencia principal de personas que siguen trabajando en Madrid y que han abandonado el municipio en busca de mejor calidad de vida.

Tabla 2. Ajuste de los modelos de regresión lineal múltiple

Variab les	M-EUL B std	M-UEA B std	M-ZIC B std	M-ZC B std	M-G4 B std
Intercepto	1.107	-0.089	0.341	0.866	2.442
DensPob	.355	.141	.418	.351	.284
CrecPob		.243			.135
PIncViv	.126				
PIncRenta		.135			
DensCarNacyCom					.121
AyunIzq	.121		.140		
PUrbaniza		.336	.124	.260	.176
PSueNoUrbCom				-.120	-.088
DistCom				.765	
DistUniv					.426
DistHosp					-.276
DistCarNacyCom					-.283
DistHidro	-.189				-.095
Distabos		-.124			
DistNatur			-.167		
DistCenNeg	-.447		-.118	-.986	-.605
PNatur	-.137	.320			.114
Pme3			.252		
P801y1000			-.094		
R^2	0.51	0.42	0.65	0.53	0.73
FIV <	1.417	1.551	2.924	1.51	2.07
DW	2.156	1.740	1.699	2.124	1.727

Deteniéndonos ahora en cada uno de los modelos por separado, comprobamos que entre las 6 variables seleccionadas para el ajuste del modelo de estructura urbana laxa (**M-EUL**) encontramos una predominancia de las relacionadas con la accesibilidad, aunque también fueron seleccionadas variables de tipo socioeconómico e incluso político. Por otro lado se trata del único modelo en el que el incremento del patrimonio inmobiliario entre 1990 y 2000 resulta significativo. Si atendemos a los coeficientes estandarizados, podríamos decir que según este modelo los municipios en los que más aumenta este tipo de urbanización serían principalmente, y en este orden de importancia, los más cercanos a la ciudad de Madrid, los de mayor densidad de población y los que se encuentran a una menor distancia media de un curso de agua.

Por su parte el modelo ajustado para el crecimiento de la categoría urbanizaciones exentas y/o ajardinadas (**M-UEA**) incluyó hasta 6 variables, siendo este modelo en el que se consigue explicar el menor porcentaje de la variabilidad de los datos (42%). En este caso observamos un mayor peso de las variables socioeconómicas y de planificación, aunque las variables relacionadas con la proximidad a elementos naturales juegan también un papel importante. No en vano, y según se recoge en la descripción inicial del crecimiento urbano experimentado en la región, este tipo de urbanización creció de manera más importante en los municipios serranos de la misma, próximos a zonas forestales y con un importante patrimonio natural. Es de destacar también que sea el único modelo en el que el incremento de la renta entre 1990 y 2000 resulte significativo, especialmente si tenemos en cuenta que son los sectores de población con mayor poder adquisitivo los que acceden a este tipo de inmuebles.

Atendiendo de nuevo a los coeficientes estandarizados, podemos decir que el crecimiento de este tipo de urbanizaciones vendría determinado por el porcentaje de suelo urbanizable disponible en el municipio, el volumen de superficie municipal catalogada como espacio natural protegido y el incremento de población experimentado.

El modelo ajustado para el crecimiento de la categoría zonas industriales y comerciales (**M-ZIC**) incluyó hasta 7 variables, alcanzando el mayor porcentaje de explicación de la variabilidad de los datos de todas las categorías tratadas individualmente (65%). Destaca en este caso la incorporación de dos variables relacionadas con la topografía, lo que indica que el desarrollo de esta categoría está supeditado a la existencia de condiciones constructivas adecuadas (pendientes suaves y altitudes bajas). También se deriva de los resultados que los municipios potencialmente gobernados por los dos principales partidos de izquierda (IU y PSOE) influyen positivamente en el desarrollo de nuevas zonas comerciales e industriales. En resumen, y atendiendo a las variables que presentan los coeficientes estandarizados más elevados, el modelo muestra que el crecimiento de esta categoría principalmente viene determinada por la existencia de importantes densidades de población, unas pendientes moderadas (< 3%) y espacios naturales protegidos próximos.

En el caso de las zonas en construcción (**M-ZC**), sólo se seleccionaron 5 variables. El modelo resultante arroja de nuevo que es la distancia al centro de negocios lo que va a determinar la aparición de nuevas superficies artificiales, junto con la densidad de población. Sin embargo destaca el segundo puesto ocupado por la distancia a los centros comerciales existentes en 1990, lo que indica que son los municipios con una distancia media menor a las grandes superficies comerciales los que registran un mayor incremento de zonas en construcción. Este resultado es de especial interés, puesto que de algún modo revela la importancia que la aparición de estos centros está teniendo en la dinámica urbana de la región. Finalmente comprobamos como estas nuevas superficies artificiales no aumentan en municipios con mayores porcentajes de suelo no urbanizable.

Por último el modelo ajustado para la suma de las 4 categorías de crecimiento urbano (**M-G4**) mostró mejores resultados, incluyendo éste 10 variables independientes. En este contexto más generalizado ha sido posible la incorporación de otras variables tradicionalmente relacionadas con el crecimiento urbano como la distancia media o densidad media de carreteras principales en el municipio. Del ajuste del modelo se desprende que tanto el crecimiento como la densidad de población son factores influyentes en el crecimiento urbano, del mismo modo que las condiciones de accesibilidad a hospitales, carreteras y al centro de negocios. No obstante, sorprende cuanto menos que la segunda variable más influyente sea la distancia a Universidades pero en sentido negativo, es decir, que los mayores incrementos del conjunto de estas superficies artificiales se produce en aquellos municipios más alejados de los principales centros de enseñanza superior.

Resultados del ajuste de los modelos por mínimos cuadrados parciales PLS

Con la aplicación de esta metodología se obtuvo como resultado una matriz de 31 factores, los cuales explican entre el 58 y 78 % la variabilidad de las variables independientes X y el 64 % la de las variables dependientes Y .

En este sentido, y con la finalidad de poder hacer una comparación entre los resultados obtenidos con RLM y PLS, se incluyeron todos los factores al obtener los coeficientes $PLS \beta_{PLS}$.

En la tabla 3 se muestran los resultados de los modelos y en la figura 2 se presenta la comparación entre las variables seleccionadas por los modelos de regresión lineal múltiple y sus correspondientes variables en los modelos de regresión por mínimos cuadrados parciales. Se puede apreciar que, en general, los modelos son bastante comparables. Tan sólo encontramos algunos desajustes importantes en la variable distancia al centro de negocios del modelo ajustado EUL, que aunque en ambos modelos posee signo positivo, en el PLS tiene un valor mayor (figura 2a). Por su parte, la variable distancia al centro de negocios del modelo ajustado ZIC (figura 2c), muestra valores similares, pero signo contrario ($RLM = -0.118$ y $PLS = 0.10$).

Para el modelo **EUL**, además de las variables seleccionadas en la RLM, la distancia a zonas comerciales, universidades y hospitales poseen correlaciones relevantes con el crecimiento de esta categoría. Asimismo se deriva que la ubicación de esta categoría urbana se produce en municipios con pendientes suaves.

Tabla 3. Coeficientes de regresión para cada variable dependiente

	Ln-EUL	Ln-UEA	Ln-ZIC	Ln-ZC	Ln-G4
DensPob	0.22	0.17	0.31	0.36	0.26
CrecPob	-0.02	0.26	-0.06	0.01	0.14
CrecEmp	-0.01	0.00	-0.08	0.00	-0.02
PincViv	0.15	-0.09	0.05	0.09	0.06
PincRent	0.01	0.05	0.02	0.00	0.04
Denscar	-0.03	-0.11	0.20	-0.08	-0.02
DensCarnaco	0.05	-0.01	0.12	-0.01	0.10
Purbaniz	0.11	0.26	0.05	0.30	0.14
PCom	-0.04	-0.03	-0.05	-0.08	-0.07
PvotoIzq	-0.03	-0.08	-0.10	0.08	-0.07
AyunIzq	0.16	-0.03	0.21	0.00	0.12
DistHosp	-0.34	-0.17	-0.12	0.13	-0.46
DistCom	0.76	-0.21	-0.29	1.19	0.16
DistUniv	0.55	0.37	0.05	-0.11	0.63
DistInNoDe	-0.14	0.12	-0.23	0.24	-0.16
DistCar	0.07	-0.16	0.02	0.03	-0.08
DistCarnaco	0.09	-0.26	0.04	-0.12	-0.10
Distaos	-0.06	-0.07	-0.07	0.10	-0.07
DistHidro	-0.14	-0.05	-0.05	0.04	-0.10
DistNatur	-0.05	0.04	-0.07	0.05	-0.01
DistSol	-1.37	-0.18	0.10	-1.48	-0.75
PCVbos	0.04	-0.01	0.06	0.20	0.05
PCvHUM	0.07	0.08	0.03	-0.01	0.08
Pnatur	-0.08	0.25	-0.04	-0.04	0.14
PCvNatur	-0.15	0.06	0.10	0.04	0.00
Psur	0.06	0.02	-0.03	-0.03	-0.01
PMe3	0.19	-0.11	0.21	0.00	0.12
P3y6	-0.04	0.05	-0.07	-0.08	-0.05
Pme800	-0.01	-0.06	0.05	0.06	0.01
P801y1000	-0.06	-0.01	-0.05	-0.09	-0.04
P1001y1200	0.01	-0.04	0.08	0.05	0.01
R	0.58	0.55	0.72	0.59	0.78

Las variables que complementan la explicación de las **UEA** siguen mostrando el carácter propio de las urbanizaciones de segunda residencia, donde la accesibilidad a las vías de comunicación es un factor determinante en su ubicación. En este caso también resulta significativa la distancia a las universidades públicas de referencia, lo que resulta lógico si tenemos en cuenta que las existentes en 1990 se localizaban en unos pocos municipios del centro de la Comunidad de Madrid.

Para el caso del modelo ajustado **ZIC**, el modelo PLS complementa la selección de las variables que, en alguna medida, explican la localización de esta categoría, seleccionando otras variables adicionales como la densidad de carreteras o la distancia a comercios e instalaciones no deseables.

Por otro lado, el modelo ajustado para las zonas en construcción **ZC** además de la selección de las variables obtenidas en la *RLM*, también correlaciona negativamente la distancia a las carreteras, es decir que la ubicación de las nuevas zonas en construcción se dio en zonas con mejor accesibilidad. Asimismo este modelo evidencia

que esta categoría se desarrolló en municipios con distancia medias mayores a los hospitales y a las instalaciones no deseables.

Por último el modelo ajustado para la suma de las cuatro categorías **G4** coincide en gran medida con las variables seleccionadas en la **RLM**, debido principalmente a que la aglutinación de las 4 categorías hace que aumente el número de municipios con valores de crecimiento de superficies artificiales. El modelo **PLS**, además de las variables seleccionadas en la **RLM**, adiciona dos variables. Primero la correspondiente a la idoneidad del terreno para ser construido, es decir municipios con porcentajes altos de pendientes menores al 3 % son más aptos para la expansión de las nuevas superficies artificiales; y en segundo lugar, las superficies artificiales, en general, se construyeron en municipios con distancia mayores a las instalaciones no deseables.

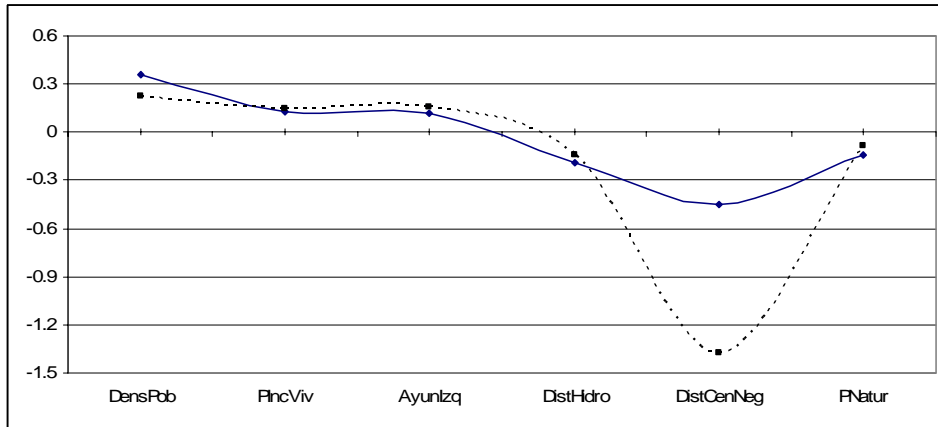


Figura 2a. Comparación de coeficientes de regresión de RLM (línea continua) y PLS (línea de puntos) para Estructura urbana laxa.

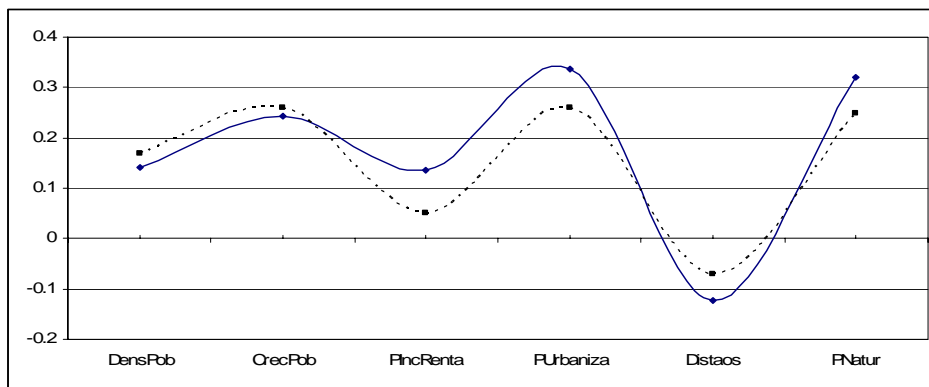


Figura 2b. Comparación de coeficientes de regresión de RLM y PLS para Urbanizaciones exentas

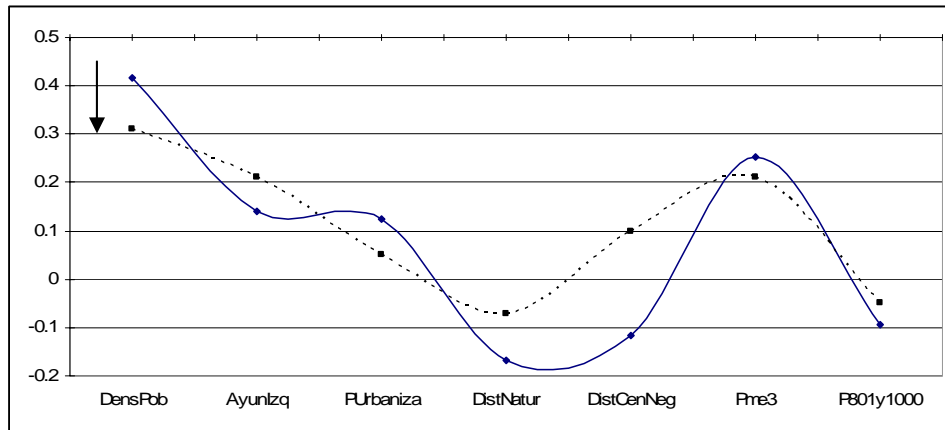


Figura 2c. Comparación de coeficientes de regresión para zonas industriales y comerciales

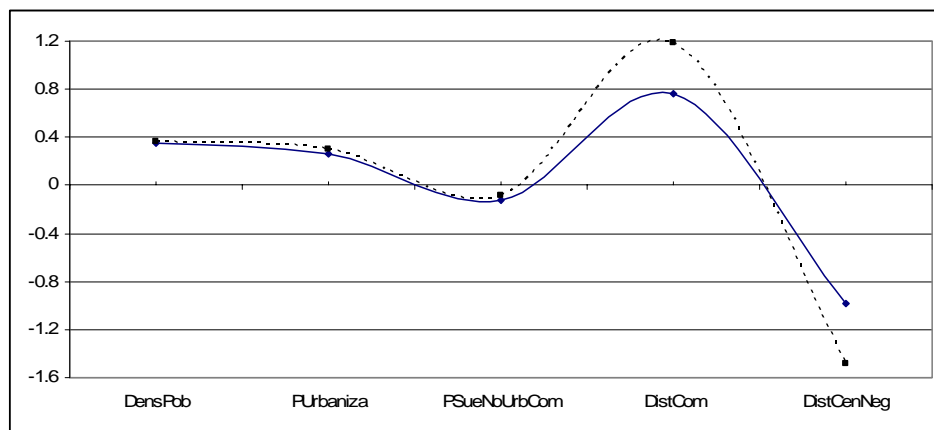


Figura 2d. Comparación de coef. De regresión para zonas en construcción

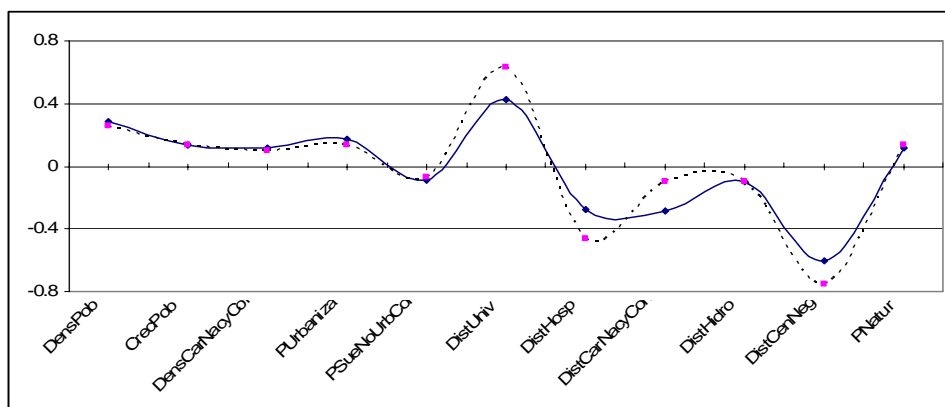


Figura 2e. Comparación de coeficientes de regresión para las cuatro categorías en conjunto

Figura 2. Comparación de los coeficientes de regresión de las variables seleccionadas en RLM y sus correspondientes valores en PLS.

CONCLUSIONES

El análisis cuantitativo de los cambios de usos del suelo que se producen en un territorio y la relación que tienen con determinados factores, conlleva habitualmente la incorporación al estudio de una gran cantidad de variables de muy distinta índole (socioeconómicas, biofísicas, de proximidad, etc.) que suelen estar referidas a distintas unidades espaciales, siendo el límite municipal el más habitualmente utilizado.

El uso de métodos estadísticos como el análisis de regresión múltiple, que utilizan como base esta unidad de observación, presentan ciertos inconvenientes a la hora de estudiar estos fenómenos espaciales, pues puede producirse pérdida de información y presentar problemas de falacia ecológica⁵ (Serra, et al 2005; Snijders y Bosker, 1999). Además, la presencia de multicolinealidad y autocorrelación en los modelos supone la exclusión de una gran cantidad de variables que pueden ser determinantes a la hora de comprender el crecimiento urbano (en nuestro caso se eliminaron hasta 25 variables).

El método de regresión de mínimos cuadrados parciales, muy poco aplicado hasta el momento en análisis que implican el estudio de variables espaciales (Yang, Z. et al 2007; Garrido Frenich, et al 2001), subsana algunos de estos inconvenientes, puesto que las exigencias en cuanto a la escala de medida, tamaño de la muestra y distribución de las variables son mínimas. En nuestro caso de estudio, su utilización ha sido muy beneficiosa al complementar los resultados arrojados por el análisis de regresión lineal múltiple, permitiendo determinar otros factores influyentes en el fenómeno estudiado que con el primer análisis eran descartados simplemente por las características de las variables que los representaban.

Así, y con el uso conjunto de ambos métodos, se ha podido comprobar que variables tales como la densidad y el crecimiento poblacional, la distancia media al centro de negocios, la distancia media a vías de comunicación, la pendiente, altitud del terreno o el porcentaje de superficie urbanizable disponible en cada municipio son determinantes a la hora de tratar de entender las lógicas que guiaron el crecimiento urbano a nivel municipal en la Comunidad de Madrid.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se ha realizado dentro de las actividades del proyecto de investigación "Crecimiento urbano y sostenibilidad en la Comunidad de Madrid. Una aproximación a los factores explicativos de los cambios recientes de usos del suelo" (Ref: CCG06-UAH/HUM-0670), financiado por la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid (Dirección General de Universidades e Investigación) y la Universidad de Alcalá.

REFERENCIAS

- Aguilera Aguilera, P. y Garrido Frenich, A. (2001): *Aplicaciones ambientales del análisis multivariante*. Monografías Ciencias y Tecnología 13, Servicio de publicaciones de la Universidad de Almería.
- Alciaturi, C. E.; Escobar, M. E.; De La Cruz, C. (2005): Partial least squares (PLS) regression and its application to coal analysis. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, 26 (3): 197-204.
- Bocco, G.; Mendoza, M.; Masera, O. (2000): La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM*, 44: 18-38.

⁵ La **falacia ecológica** es un tipo error en la argumentación basado en la errónea interpretación de datos estadísticos, en el que se infiere la naturaleza de los individuos a partir de las estadísticas agregadas del grupo al que dichos individuos pertenecen.

- Cheng, J. y Masser, I. (2003): Urban growth pattern modelling: a case study of Wuhan city, PR China. *Landscape and Urban Planning*, 62: 199-217.
- Conway Tenley, M. (2005): Current and future patterns of land-use change in the coastal zone of New Jersey. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32: 877-893.
- Davies, M. (2001): *Uncertainty testing in PLS regression*. Spectroscopy Europe 13/2.
- European Environment Agency (2006): *Urban sprawl in Europe, the ignored challenge*. EEA Report No 10/2006.
- Garimella Purna, S. K.; Prow, L. A. y Metzger, L. E. (2005): Utilization of Front-Face Fluorescence Spectroscopy for Analysis of Process Cheese Functionality. *American Dairy Science Association*, 88: 470-477.
- Hoshino, S. (2001): Multilevel modeling on farmland distribution in Japan. *Land Use Policy*, 18 (1): 75-90.
- Hu, Z. y Lo, C.P. (2007): Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31: 667-688.
- Lesschen, J. P.; Verburg, P.H. y Staal, S. J. (2005): *Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes in land use and farming systems*. LUCC Report Series 7, Wageningen University, The Netherlands.
- López de Lucio, R (2003): Transformaciones territoriales recientes en la región urbana de Madrid, *Urban*, 8: 124-161.
- Menard, S. (2002): *Applied logistic regression analysis, Second Edition*. SAGE Publications.
- Montgomery, D.; Elizabeth P. y Geoffrey V. (2005): *Introducción al análisis de regresión lineal*. Compañía Editorial Continental, México.
- Observatorio de la Sostenibilidad en España (2006): *Cambios de ocupación del suelo en España, implicaciones para la sostenibilidad*. Observatorio para la Sostenibilidad en España, Alcalá de Henares, Madrid.
- Pozo Rivera, E. (2005): Tendencias recientes en la evolución de la población de la Comunidad de Madrid. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 25: 353-379.
- Serra, P.; Pons, X. y Sauri, D. (2005): Metodología para el análisis de las transformaciones paisajísticas de áreas rurales mediterráneas. Evolución, causas y consecuencias en el caso del Alto Ampurdán (Noreste de Cataluña), *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 25: 259-278.
- Snijders, T. y Bosker, R. (1999): *Multilevel Analysis. An introduction to Basic and advanced multilevel modeling*. SAGE Publications.
- Verburg P. H.; Ritsema van Eck, J. R.; de Nijs, T. C.M.; Dijst, M.J. y Schot P. (2004): Determinants of land-use change patterns in the Netherlands, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31, 125-150.
- Wold, S.; Trygg, J.; Berglund, A. y Antti, H. (2001): Some recent developments in PLS modelling. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 58, 131-150.

Zhang, Y.; Zhou, Ch.; y Zhang, Y. (2007): A partial least-squares regression approach to land use studies in the Suzhou-Wuxi-Changzhou region, *Journal of Geographical Sciences*, 17 (2), 234-244.

Prado, E.; De Miguel, E.; Fernández-Renau, A.; Chuvieco, E.; Palacios-Orueta, A.; González-Alonso, A. (2008): Evaluación y corrección de errores de corrección en imágenes hiperespectrales AHS en estudios multitemporales. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 135-146. ISBN: 978-84-96971-53-0.

EVALUACIÓN Y CORRECCIÓN DE ERRORES DE CORREGISTRO EN IMÁGENES HIPERESPECTRALES AHS EN ESTUDIOS MULTITEMPORALES

Prado, E.^{1,2}; De Miguel, E.¹; Fernández-Renau, A.¹; Chuvieco, E.²; Palacios-Orueta, A.³; González-Alonso, A.⁴

(1) Área de Teledetección, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), Crta. de Ajalvir, km. 4. 28850 Torrejón de Ardoz. pradoe@inta.es

(2) Dpto. de Geografía, Universidad de Alcalá (UAH), C/ Colegios, 2. 28801 Alcalá de Henares

(3) Dpto. Silvopascicultura U.D. Edafología, ETSI Montes, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid.

(4) Centro de Investigación Forestal (CIFOR), Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), Crta. de la Coruña, km. 7,5. 28040 Madrid

RESUMEN

Se presenta una metodología para la evaluación y eventual corrección del error en posición de imágenes georreferenciadas hiperespectrales AHS del Área de Teledetección del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) en estudios multitemporales. El conocimiento del error geométrico asociado a una imagen georreferenciada es un factor fundamental, especialmente crítico en estudios multitemporales. Se ha utilizado un método de correlación con ventanas móviles para la evaluación del corrección entre imágenes. Los mapas de desajuste generados permiten evaluar la precisión, informar al usuario y si es necesario corregir errores, traduciendo los desplazamientos detectados a modificaciones en los parámetros de entrada del método de georreferenciación directa aplicado a las imágenes. La metodología se ha aplicado a imágenes AHS adquiridas en 2 años consecutivos sobre el área afectada en 2005 por un incendio forestal en la provincia de Guadalajara. Las campañas de imágenes AHS fueron encargadas por el Laboratorio de Teledetección del CIFOR-INIA para un estudio de la regeneración de la vegetación en la zona afectada por el incendio. Se ha conseguido reducir significativamente el error de corrección en las imágenes. La cuantificación del error posicional de la imagen es además un aspecto imprescindible si quiere cumplirse con las normas ISO aplicables a los metadatos de las imágenes de teledetección.

Palabras Clave: AHS, hiperespectral, georreferenciación directa, evaluación error

ABSTRACT

A methodology for evaluation and eventual correction of the positional error in georeferenced hyperspectral AHS images on multi-temporal studies is presented. The knowledge of the geometric error into a georeferenced image is a basic issue, especially in multi-temporal studies. A correlation method with moving window has been used to assess the spatial matching between images. The mismatch maps created allow us to evaluate the accuracy, report the user and if needed correct the errors, converting the detected displacements into changes in the Exterior Orientation parameters applied on the direct georeferencing process. The methodology has been applied to the AHS images acquired during two successive years over the area affected by a forest fire in 2005 in Guadalajara (Spain). The AHS campaigns have been entrusted by the Remote Sensing Laboratory of CIFOR-INIA for a vegetation regeneration research in this area. The registration error in the images has been significantly reduced. The assessment of positional error in the image is a critical aspect when following ISO standards on remote sensing image metadata.

Key Words: AHS, hyperspectral, direct georeferencing, error assessment

INTRODUCCIÓN

La espectroscopia de imágenes mediante la utilización de escáneres hiperspectrales aeroportados es una de las técnicas que está experimentando un mayor desarrollo y despertando un interés creciente en la comunidad científica dada las posibilidades que la hiperspectralidad puede aportar a diversos estudios ambientales. Entre ellos, una de las aplicaciones más usuales de la teledetección es el análisis de cambios en estudios multitemporales llevados a cabo a partir de imágenes tomadas desde sensores remotos en dos instantes de tiempo diferentes. Para abordar el análisis de cambios es imprescindible realizar una serie de correcciones tanto geométricas como radiométricas de cara a poder garantizar la obtención de unos buenos resultados. La falta de corrección entre imágenes puede introducir importantes errores en los resultados del análisis de cambios (Dai y Khorram, 1998; Roy, 2000; Verbyla y Boles, 2000).

Las plataformas aéreas de teledetección están sometidas a cambios de alta frecuencia en su orientación y altura con respecto al terreno a lo largo del intervalo de tiempo que tardan en adquirir una imagen. El tipo de tecnología utilizada para la adquisición de la imagen es crucial a la hora de poder llevar a cabo su correcta georreferenciación. En los escáneres lineales la geometría de adquisición hace que a un mismo rango angular de escaneo le corresponda una distancia diferente en el terreno en función de la distancia al nadir. Por tanto, existirá una singularidad de cada píxel, este efecto puede ser muy apreciable para sensores con gran FOV (Field of View). Por todo ello es muy complicado garantizar la repetitividad exacta en la toma de las imágenes entre fechas diferentes.

Los métodos de georreferenciación paramétricos (Boardman, 1999; Clark et al., 1998; Meyer, 1994; Schläpfer et al., 1998), permiten aplicar lo que se conoce con el término de georreferenciación directa, en la que la información de puntos de control en el terreno deja de ser necesaria. La georreferenciación directa se ha desarrollado en paralelo al progreso de dos tecnologías; el posicionamiento preciso a partir de datos de satélite mediante el uso de equipos GPS (Global Position System) y la medida de los ángulos de orientación mediante unidades de medida inercial, IMU (Inertial Measurement Unit). Con una adecuada combinación e integración con el sensor, estas tecnologías permiten conseguir una determinación precisa de la orientación y posición del sensor en cada instante de tiempo. Partiendo de estos datos los métodos paramétricos plantean ecuaciones que resuelven independientemente la posición de cada píxel y la proyectan sobre el terreno con el apoyo imprescindible de un modelo digital de elevaciones. Los resultados son mucho más exactos que los obtenidos por los métodos no paramétricos. Los métodos paramétricos son los utilizados de forma general por las instituciones que proporcionan datos de sensores aeroportados actualmente operativos como AHS (Fernández-Renau et al., 2005), AISA (Bärs et al., 1999), CASI (Staenz et al., 1998; Wilson et al., 1997), AVIRIS (Boardman, 1999), HYMAP (Schläpfer y Richter, 2002), y es también el método propuesto para la georreferenciación de los sensores que en estos momentos se encuentran en fase de desarrollo como ARES (Mueller et al., 2004; Müller et al., 2005) y APEX (Biesemans et al., 2007).

Aunque el método de georreferenciación directa es un método de gran exactitud, es posible que se produzcan pequeñas anomalías o desajustes que hagan necesario un estudio detallado de las precisiones alcanzadas debido a las altas exigencias de los usuarios en los datos proporcionados por sistemas de teledetección aeroportada.

La evaluación de la calidad de la imagen, incluyendo en este término procesos tan críticos como la calibración del sensor, georreferenciación, correcciones radiométricas e incluso las correcciones atmosféricas, es un aspecto de máximo interés para los usuarios de imágenes e imprescindible si quiere cumplirse con las recientes normas ISO aplicables a imágenes de teledetección (International Organization for Standardization, 2003). En la actualidad, la evaluación de la precisión geométrica de los productos generados sigue siendo una asignatura pendiente para las imágenes de sensores aeroportados. La única aproximación que puede encontrarse es el valor del error medio cuadrático (RMSE) estimado a partir de una serie de puntos de control localizados en el terreno (Guevara et al., 2004; Atkinson, 2001; Dyk, 2002). Este enfoque, válido en la mayoría de los casos en imágenes adquiridas desde el espacio, no resuelve el problema en el caso de imágenes de sensores aeroportados debido a que la geometría de la imagen bruta de un escáner lineal aeroportado y la imagen ya corregida es extremadamente compleja. La relación entre ambas, calculada por un proceso de georreferenciación directa, viene dada por una relación punto a punto, sin aplicar un modelo analítico general para la totalidad de la imagen y un único valor para expresar este fenómeno parece en todo caso insuficiente (Gregory et al., 1999). A pesar de ello, los

puntos de control se han utilizado en numerosas ocasiones (Brunn et al., 2003; Mundt et al., 2005; Glenn et al., 2005) ante la dificultad de encontrar métodos alternativos.

Existen numerosos trabajos que intentan ayudar al control de la calidad del cálculo, centrados en la mejora de las condiciones de adquisición y planeamiento de la toma de datos, (Mostafa, 2002; Madani y Mostafa, 2001) y referentes a la calibración e integración de los diferentes componentes del sistema formado por sensor, GPS, IMU (Honkavaara, 2002; Jacobsen, 2002; Jacobsen y Wegmann, 2001; Mostafa y Mostafa, 2001; Nilsen, 2002; Skaloud y Schaer, 2003).

En la evaluación de la precisión geométrica de las imágenes AHS (Airborne Hyperspectral Scanner) entran en juego varios factores. Primero, la incertidumbre de los parámetros de Orientación Externa (OE), en la que intervienen las características técnicas del sistema GPS+IMU, configuración de la constelación de satélites GPS en el momento de la toma de los datos, la distancia a la que se encuentra la estación GPS de referencia en el terreno con la cual se consiguen correcciones diferenciales, etc. Segundo, el error asociado al cálculo de la orientación relativa entre IMU y sensor (ángulos de *boresight*). Tercero los posibles errores residuales en el cálculo de la transformación de Datum (de WGS84 al sistema requerido por el usuario), de la convergencia de la cuadrícula (en caso de usar la proyección UTM) y de la ondulación del geoide según el modelo global EGM96 (<http://cddis.gsfc.nasa.gov/926/egm96/>). Por último la mayor fuente de error proviene de la resolución y precisión del Modelo Digital del Terreno (MDT) que se aplica (Schläpfer et al., 2000; Schläpfer y Richter, 2002). Sin embargo la influencia en la precisión del MDT se elimina cuando se trata de estudios multitemporales en los que para ambas fechas se ha utilizado el mismo MDT. Además de todos estos factores existe la posibilidad de que se produzcan fallos en alguno de los componentes del sistema que pueden dificultar en gran medida el proceso de georreferenciación, así como deteriorar la calidad de los resultados obtenidos. En estos casos, es importante contar con metodologías que permitan detectar y subsanar dichos errores.

El corregistro de imágenes es el proceso de superponer dos o más imágenes de la misma zona tomadas en diferentes instantes de tiempo, desde diferentes puntos de vista y/o a partir de diferentes sensores. En Brown, 1992 y Zitová y Flusser, 2003 se puede encontrar una revisión exhaustiva de las diferentes estrategias utilizadas a lo largo del tiempo en el corregistro de imágenes. Los métodos de corregistro automático de imágenes son capaces de detectar o extraer rasgos característicos en las dos imágenes sobre las que se pretende evaluar la precisión relativa y obtener la relación existente entre ellos, de esta forma se puede utilizar esta medida de similitud como evaluación del proceso de georreferenciación.

En este trabajo se define una metodología para la evaluación y corrección del error en posición cometido en la georreferenciación de imágenes hiperespectrales AHS en estudios multitemporales.

MATERIALES

Se han utilizado imágenes del sensor AHS (*Airborne Hyperspectral Scanner*). Las campañas de imágenes AHS fueron encargadas por el Laboratorio de Teledetección del Departamento de Protección Forestal del CI-FOR-INIA al Área de Teledetección del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) para el estudio de la regeneración de la vegetación en un área afectada por un incendio forestal. El área de estudio es la zona afectada por el incendio forestal que se produjo en el entorno del Parque Natural del Alto Tajo, en la provincia de Guadalajara en el verano de 2005, y que arrasó una superficie de aproximadamente 12.000 hectáreas de bosque de pinos resineros, sabinas centenarias y robledales de un gran valor ecológico, además de cereal y pasto.

Sensor AHS

El sensor AHS es un sensor hiperespectral aeroportado de barrido mecánico (*whiskbroom scanner*). El AHS se opera desde la aeronave CASA C-212 del INTA, equipada para realizar campañas de teledetección. El sensor adquiere la imagen mediante el barrido de un espejo giratorio, con óptica primaria reflectiva, con IFOV (*Instantaneous Field of View*) único y común para todas las bandas. El AHS posee 80 bandas, un FOV de 90° y un IFOV de 2.5 mrad. La velocidad de barrido del espejo se ajusta a diferentes valores en función de la altura de vuelo obteniéndose tamaños de píxel que varían entre 2 y 7 metros según la configuración utilizada.

Una vez captada la energía procedente del terreno, el sensor divide dicha energía en cinco puertos ópticos que cubren las regiones espectrales VIS/NIR, SWIR, MIR y TIR y cuyos anchos de banda varían según la región espectral (tabla 1). El sensor digitaliza la información en 12 bits y cada línea de imagen AHS está compuesta por 750 píxeles. Posee dos fuentes de referencia internas, dos cuerpos negros cuyas temperaturas son seleccionables. Estos cuerpos negros son observados y registrados en cada línea imagen, proporcionando un valor de radiancia cero en los canales reflectivos (PT1, PT2 y PT2A) y niveles de referencia para la calibración de los canales emisivos (PT3 y PT4).

Tabla 1. Características espectrales del sensor AHS

	PUERTO 1 VIS/NIR	PUERTO 2A SWIR	PUERTO 2 SWIR	PUERTO 3 MIR	PUERTO 4 TIR
Rango (micrometros)	0.43 -> 1.03	1.55 -> 1.75	2.0 -> 2.54	3.3 -> 5.4	8.2->12.7
ancho (FWHM)	28 nm	150 nm	13 nm	300 nm	400-500 nm
Nº de bandas	20	1	42	7	10

Campañas de adquisición de datos

Hasta la fecha se han realizado 3 campañas de adquisición de datos sobre la zona, llevadas a cabo con una diferencia temporal entre campañas sucesivas de aproximadamente un año. El primer vuelo se llevó a cabo el 6 de octubre de 2005. Para la planificación de la campaña se utilizó un perímetro de la superficie afectada por el incendio proporcionado por el INIA y con apoyo de cartografía se diseñó una campaña compuesta por 7 pasadas paralelas, con rumbos que coinciden con el plano solar de forma que se eviten o en todo caso minimicen posibles problemas de iluminación diferencial. Los ejes de vuelo de las pasadas se trazan de forma que las imágenes posean cierto solape que permitirá componer a posteriori un mosaico de imágenes (fig.1). La altura de vuelo y las revoluciones de giro del espejo se configuraron para que la resolución espacial teórica de las imágenes AHS fuera de 3.5 metros en el nadir. La segunda y tercera campaña de adquisición de datos tuvieron lugar el 6 de octubre de 2006 y el 28 de septiembre de 2007 respectivamente, respetando la configuración inicial para conseguir la mayor repetitividad de los datos.

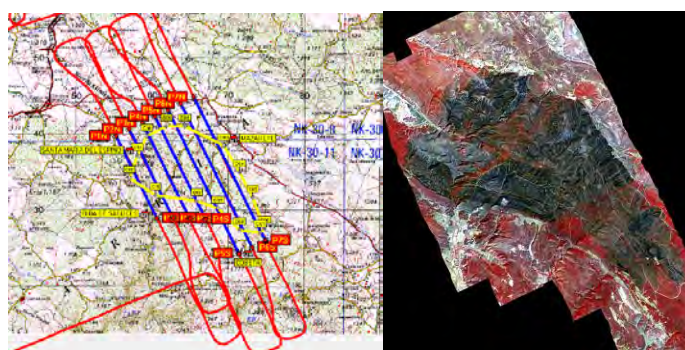


Figura 1. (a) Esquema de las líneas de vuelo de la campaña de adquisición de datos. En amarillo el perímetro del área quemada, en rojo la trayectoria de vuelo y en azul las imágenes adquiridas por el sensor AHS (b) Mosaico imágenes AHS – año 2005

Productos imagen AHS

Para el diseño de la metodología presentada se han utilizado las imágenes AHS nivel L1c de los años 2005 y 2006. Los productos L1c del sensor AHS son imágenes con valores de radiancia en el sensor georreferenciadas. Este producto imagen se obtiene según el proceso de datos nominal del AHS desarrollado en el Área de Teledetección del INTA (Fernández-Renau et al., 2005) aplicando un proceso de georreferenciación directa.

Mediante la georreferenciación directa se consigue la ortorrectificación de la imagen y la geolocalización de sus píxeles en un sistema geodésico de referencia sin la necesidad de puntos de control en el terreno. La aplicación de este método hace indispensable contar con datos de la posición y orientación del sensor en el momento de adquisición de la imagen. El sensor AHS se opera integrado un sistema POS/AV-410 de Applanix (www.applanix.com), compuesto por una antena y receptor GPS y una Unidad de Medida Inercial (IMU) instalada en la cabeza del sensor (tabla 2).

Tabla 2. Especificaciones de la precisión absoluta del Sistema POS/AV-410 de Applanix

	C/A GPS	Post-proceso
Posición (m)	4.0-6.0	0.05-0.30
Roll & Pitch (°)	0.015	0.008
Heading (°)	0.080	0.015

La integración entre el sensor AHS y el Sistema POS/AV-410 se realiza mediante la medición precisa de la posición de cada uno de sus componentes respecto al sistema de referencia imagen (vectores *lever arms*), la realización periódica de vuelos de calibración geométrica para obtener la orientación de los ejes de la IMU con respecto al sistema imagen (ángulos de *boresight*) y la sincronización en el tiempo de las medidas realizadas por el sensor (líneas imagen) y el sistema inercial (datos GPS y ángulos de orientación). Una vez obtenidos los parámetros de posición y orientación, el siguiente paso es aplicarlos a las imágenes AHS adquiridas. Para ello se utiliza el software PARGE (*PARAmetric GEocoding*), software de georreferenciación paramétrico orientado para su aplicación específica a la espectroscopia de imágenes (Meyer, 1994; Schlöpfer et al., 1998).

En la campaña de adquisición de imágenes AHS llevada a cabo en octubre de 2006, se produjo un comportamiento anómalo en el sistema de generación de eventos del sensor AHS. Esto provocó que los pulsos electrónicos que el sensor genera en cada rotación del espejo a su paso por el nadir no coincidieran con ese instante de tiempo lo que dificultaba en gran medida la sincronización entre los datos del sistema inercial y los datos imagen AHS. Por este motivo, el proceso de georreferenciación aplicado a las imágenes de este año no coincide exactamente con el proceso nominal.

METODOLOGÍA

Para definir la metodología de evaluación del error en posición de imágenes hiperespectrales AHS en estudios multitemporales y abordar la corrección del error detectado, se han seguido los siguientes pasos (i) elección del método de evaluación del corregistro entre imágenes, (ii) configuración de los parámetros del método adaptados al sensor AHS (iii) validación de la capacidad del método en la detección de patrones de error (iv) aplicación de la metodología diseñada a un caso real de estudio multitemporal AHS y (v) corrección de los errores detectados en las imágenes AHS.

Elección del método de evaluación del corregistro entre imágenes

Para resolver el problema de la evaluación del error geométrico se utiliza el cálculo de la correlación entre ventanas móviles en las imágenes. Esta técnica se ha empleado habitualmente en sistemas de corregistro automático de imágenes. Para implementar la evaluación de errores se utiliza el lenguaje de programación IDL.

Los parámetros de entrada son las dos imágenes AHS nivel L1c, sobre las que se desea evaluar los posibles desajustes, el tamaño de la ventana móvil, el rango de desplazamientos que se desea evaluar y la banda o combinación de bandas sobre las que se desea realizar el cálculo de la correlación. La herramienta considera una de las imágenes como imagen de referencia, que permanece fija en el espacio y la otra imagen como imagen a evaluar que es la que se desplaza en el proceso de cálculo. El cálculo de la correlación se realiza sobre los valores que posean los píxeles. Se calcula el coeficiente de correlación de dos matrices de $m \times n$ elementos.

El resultado es una imagen con tres bandas en formato ENVI. La banda 1 contiene el máximo valor de correlación encontrado en cada una de las ventanas de imagen, la banda 2, contiene el valor del desplazamiento en el eje X_{UTM} en píxeles, que se asocia a la máxima correlación y la banda 3 los desplazamientos en el eje Y_{UTM} donde se ha encontrado la máxima correlación entre ventanas. Se consigue de esta forma un mapa de desplazamientos existentes entre las dos imágenes evaluadas y en el que se puede observar como se distribuyen los errores en la imagen.

Generación de imágenes de validación

Para la validación de la capacidad de detección de patrones de error, se han utilizado imágenes AHS modificadas, en las que se ha introducido un valor de desajuste en cada uno de los parámetros de orientación externa utilizados en su georreferenciación. Se introduce un cambio angular en el fichero que contiene los parámetros de orientación de 0.25° en *roll*, *pitch* y *heading* y tres desplazamientos en las coordenadas del sensor en el momento de adquisición de los datos, en X_{UTM} y en Y_{UTM} de 6 metros y un incremento en la altura ortométrica (H_0) de 50 metros. Con estos parámetros se vuelve a generar el producto L1c por el método explicado anteriormente, de forma que se obtienen 6 imágenes AHS desplazadas.

Validación de la detección de patrones de error

Se realizan los cálculos y análisis de los valores de correlación con cada una de las parejas de imágenes generadas en la fase anterior. Como imagen de referencia la imagen correcta, sometida al proceso de georreferenciación directa nominal y como imagen a evaluar aquellas generadas de la misma forma pero con sus parámetros de orientación externa modificados. Una vez obtenidos los resultados se debe verificar que los patrones de error existente en la imagen de desplazamientos corresponden al efecto que produciría el valor erróneo de cada uno de los parámetros de entrada al modelo.

Selección de la información de entrada para el cálculo de la correlación

El valor de correlación que se obtiene está directamente relacionado con la similitud entre las ventanas de imagen que se evalúan. Las zonas sometidas a estudios de análisis de cambios tienen la peculiaridad de haber sufrido algún tipo de modificación en su cubierta y los valores de radiancia recogidos por el sensor en las imágenes de una y otra fecha pueden tener valores significativamente diferentes. Sin embargo, es precisamente, en este tipo de estudios, donde se hace crítico garantizar un óptimo corregistro entre imágenes.

Para poder decidir sobre qué información se van a realizar los cálculos de correlación, se estudian los valores de correlación medios que se obtienen entre las imágenes de los años 2005 y 2006 para diferentes bandas AHS, situadas en distintas regiones del espectro electromagnético. Se han seleccionado las siguientes bandas: B01 (0.4557 μm), B04 (0.5402 μm), B10 (0.7148 μm), B15 (0.8607 μm), B21 (1.5532 μm), B30 (2.1313 μm) y B45 (2.3085 μm).

Además se ha estudiado el valor de correlación medio obtenido para un cociente de bandas AHS (B15/B08). La ventaja de la utilización de cocientes es la reducción del efecto que pueden producir las diferencias absolutas de los valores de radiancia de las diferentes fechas.

Por último se han calculado los Factores de Correlación Canónicos (FCC) para cada pareja de imágenes, año 2005-2006. Los FCC son las combinaciones lineales óptimas para obtener la información de máxima similitud entre imágenes de dos fechas diferentes (Nielsen et al., 1998). Aplicando los coeficientes resultantes del análisis de correlación a cada una de las bandas AHS que han entrado en el análisis de correlación canónico se genera una nueva imagen que retiene la información común existente en ambas fechas.

Evaluación y corrección de las imágenes AHS - campaña Guadalajara

Como último paso se evalúa el nivel de corregistro alcanzado en el proyecto AHS que se está llevando a cabo sobre el área afectada por un incendio forestal en el entorno del Parque Natural del Alto Tajo. Se conside-

ran como imágenes de referencia las que corresponden al año 2005, y como imágenes a evaluar las correspondientes al año 2006, sobre las que se desea conocer el grado de desajuste geométrico.

Una vez obtenidos los mapas de desplazamientos, se deben traducir los desplazamientos en X_{UTM} , Y_{UTM} a valores aplicables a los parámetros de entrada del método de georreferenciación de las imágenes. Se generan nuevos parámetros de orientación externa que servirán para repetir el proceso de georreferenciación y mejorar de esta forma el ajuste geométrico entre imágenes.

RESULTADOS

Validación de la detección de patrones de error

Obtenidas las imágenes de desplazamiento entre las imágenes originales y las imágenes generadas a partir de datos de posición y orientación modificados se observa como un desplazamiento de 6 metros aplicado a las coordenadas UTM que marcan la posición del sensor en el momento de adquisición de las líneas de datos AHS se traduce en las imágenes de corregistro como desplazamientos en X_{UTM} , Y_{UTM} de 2 píxeles constantes en toda la imagen.

El cambio de 50 metros en la altura del sensor, equivale a un cambio de escala en la imagen. Al disminuir la altura del avión, el terreno abarcado por el FOV del AHS disminuye. Las imágenes de desplazamientos muestran valores de desplazamiento negativos en X_{UTM} e Y_{UTM} para los píxeles situados al este del nadir y valores positivos en X_{UTM} e Y_{UTM} para los píxeles situados al oeste del nadir, así como un valor de desplazamiento 0 en la línea que corresponde con la posición del nadir en la imagen.

Se analizan las imágenes de desplazamientos obtenidas a partir del análisis de correlación entre las imágenes originales y las imágenes generadas a partir de ficheros en los que se ha introducido un cambio de 0.25° en los ángulos de orientación *roll*, *pitch* y *heading*. En ellas se observa como este desajuste angular se proyecta sobre las coordenadas cartográficas UTM. La cantidad de desajuste en cada uno de los ejes cartográficos depende principalmente del error angular introducido y del rumbo con el que haya adquirido la imagen (fig. 2).

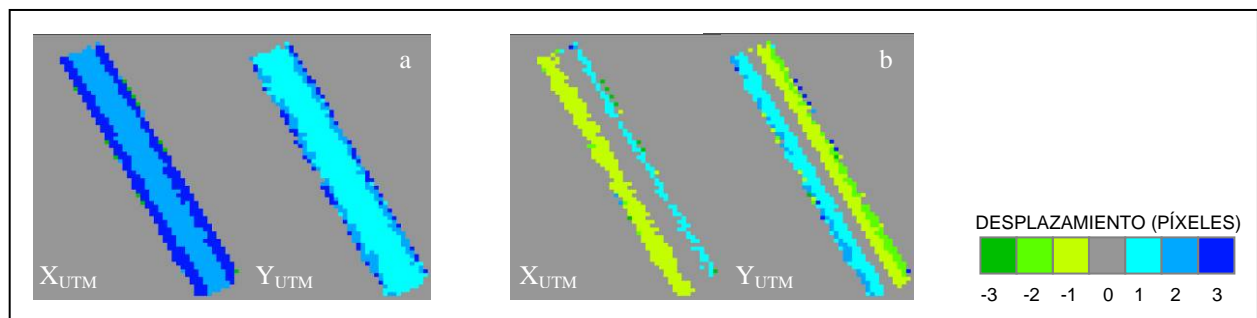


Figura 2. Patrones de desplazamientos en X_{UTM} , Y_{UTM} resultados del análisis de corregistro de las imágenes AHS contra imágenes AHS con parámetros de orientación modificados. (a) *roll* $+0.25^\circ$ (b) *heading* $+0.25^\circ$

Selección de la información de entrada para el cálculo de la correlación

Para minimizar el efecto que introduce en el cálculo de la correlación el cambio que la cubierta ha sufrido entre las 2 fechas de adquisición de las imágenes, se estudia cuales son los valores de radiancia en el sensor óptimos para realizar el cálculo de la correlación entre ventanas, los que manifiesten menos el cambio de la cubierta. Se debe tener en cuenta que el cálculo del corregistro será tanto más robusto cuando existan características en la cubierta que hagan que los valores de correlación sean significativamente diferentes para los diferentes desplazamientos de la ventana de imagen, es decir, que exista un máximo relativo claro dentro de los valores de correlación calculados (fig. 3).

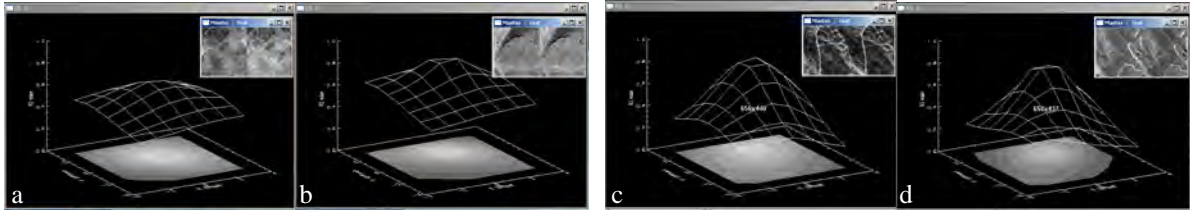


Figura 3. (a) y (b) Gráficas de correlación para ventanas en áreas homogéneas de la imagen (c) y (d) Gráficas de correlación para ventanas con rasgos característicos, en este caso caminos forestales

Se han calculado los valores medios de las imágenes de máxima correlación para diferentes bandas individuales del AHS que se encuentran en distintos rangos del espectro. Además se ha realizado este mismo cálculo para el cociente de bandas, B15/B08 y para el 2º Factor de Correlación Canónica – FCC2 (fig. 4).

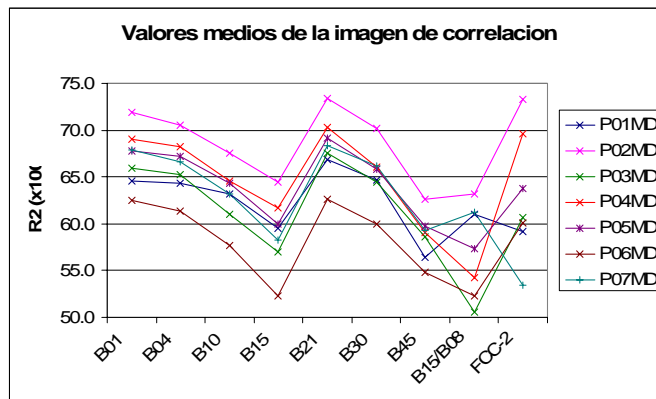


Figura 4. Valores medios de la imagen de máxima correlación (2005-2006) en las 7 pasadas AHS, para bandas individuales, cociente B15/B08 y FCC-2

Se puede observar como para la banda 1, situada en $0.455 \mu\text{m}$, se obtienen valores altos, presentando valores medios de correlación mayores al 60% para todas las pasadas. A partir de aquí y según las bandas se desplazan a longitudes de onda mayores la correlación desciende llegando al mínimo de correlación entre imágenes en la banda 15. Esta banda situada en el infrarrojo cercano ($0.86 \mu\text{m}$) es una de las bandas en las que más se refleja el cambio de cubierta entre fechas y de ahí sus valores bajos de correlación que no superan en ninguna imagen el 65%. Se obtienen también valores bajos de correlación para las bandas 30 y 45 situadas en el rango del SWIR (en $2.13 \mu\text{m}$ y $2.30 \mu\text{m}$ respectivamente).

Para las imágenes calculadas a partir del cociente banda 15 / banda 8 (NIR/R) se obtienen valores de correlación muy bajos, aunque un poco más variables entre imágenes en función de la proporción que la zona afectada por el incendio ocupa en las imágenes.

Respecto a los factores canónicos obtenidos y tras una inspección visual, el primer y factor resulta demasiado ruidoso mientras el segundo factor se considera adecuado para el análisis. Los valores más altos de correlación los encontramos en la banda 21 ($1.55 \mu\text{m}$) y en las imágenes formadas a partir de los coeficientes obtenidos del análisis de correlación canónico, FCC2. Dado que entre ellos no existen diferencias notables, se decide utilizar la banda 21 como dato de entrada para el análisis del corregistro por su simplicidad de cálculo.

Evaluación y corrección de las imágenes AHS - campaña Guadalajara

Un análisis de las imágenes de desplazamientos generadas correspondientes a la comparación 2005-2006 permite deducir que el patrón de error se corresponde a una frecuencia incorrecta de los datos GPS/IMU. Todas las imágenes, a excepción de las pasadas P01 y P06, presentan una zona en la que no se encuentran despla-

mientos entre las imágenes y después a cada uno de los lados de esta zona estable, los desplazamientos en coordenadas aumentan siempre siguiendo la dirección de vuelo. En la pasada P01 y P06 se puede observar que no existe esa zona sin desplazamientos, lo que implica que además de un desajuste en la frecuencia de los datos, existe un error en el tiempo inicial elegido para los datos GPS/IMU en esas dos imágenes (fig. 5).

A partir de esta información se pueden calcular de nuevo los ficheros de parámetros de orientación externa de las imágenes traduciendo el desplazamiento en X_{UTM} , Y_{UTM} en tiempo de des-sincronización y seleccionando los datos con la frecuencia adecuada, se obtienen nuevas imágenes L1c. Para verificar que las nuevas imágenes corregidas geoméricamente de la campaña del 2006 encajan sin desplazamientos con las imágenes del año 2005, se vuelve a realizar el cálculo de correlación por ventanas. Se observa como la corrección se consigue mejorar notablemente el corregistro entre imágenes (fig. 6). En las nuevas imágenes de desplazamientos no se observa ya la existencia de ningún patrón de error, aunque si se pueden ver algunos píxeles aislados en los que se detecta desplazamientos relativos entre imágenes.

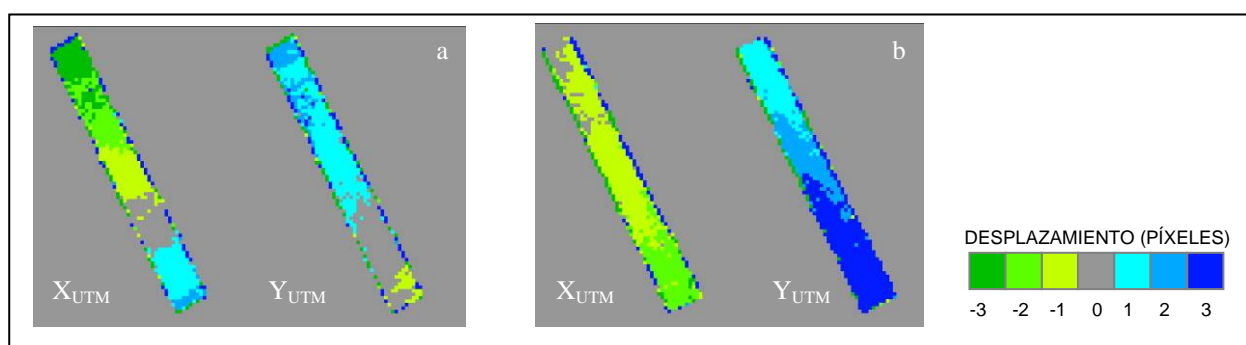


Figura 5. Resultados del análisis de corregistro de las imágenes AHS - Guadalajara, años 2005 y 2006. (a) Imagen P05 (b) Imagen P06

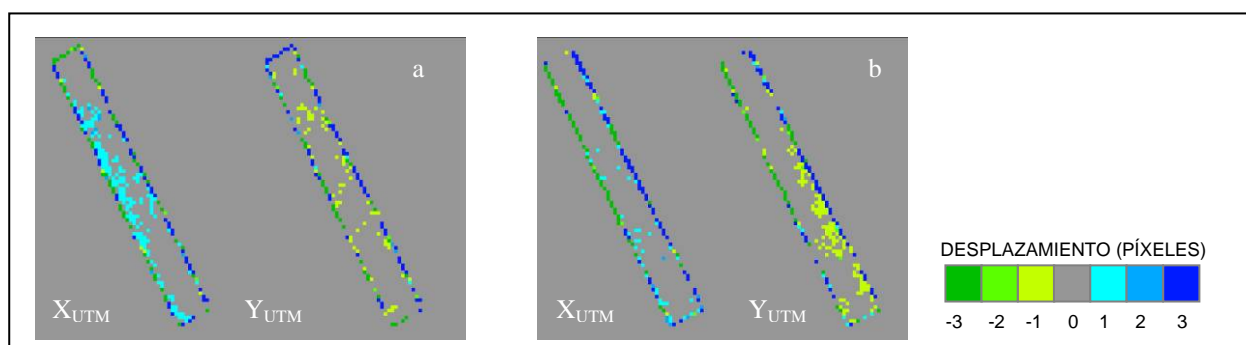


Figura 6. Resultados del análisis de corregistro de las imágenes AHS – Guadalajara, años 2005-2006 corregido el error de sincronización. (a) Imagen P05 (b) Imagen P06

CONCLUSIONES

La metodología propuesta mejora la estimación de errores en la geolocalización de los píxeles en imágenes AHS adquiridas en el marco de estudios multitemporales, permitiendo la identificación de patrones de desplazamiento entre imágenes. Estos patrones pueden ser traducidos en desajustes en los parámetros de entrada al proceso de georreferenciación directa, pudiendo identificar qué parámetro introduce el error, así como cuantificar la magnitud de dicho error.

La correlación de ventanas de entre 75 y 100 píxeles es suficientemente sensible para detectar patrones de error. Ocasionalmente el resultado de la correlación puede ser incorrecto, pero eso solo ocurre en un número pequeño de ventanas en cada imagen que no impiden la interpretación global de los resultados. Los valores de correlación anómalos son en algunos casos debidos a la limitación del método en sí, aunque en ciertas ventanas pueden deberse probablemente a cambios significativos en la superficie observada, ya que la utilización del mismo modelo digital del terreno y la metodología de georreferenciación directa utilizada, hacen poco probables la aparición de errores locales.

Es importante destacar que aunque los valores medios de las imágenes de correlación varían en función de los datos de entrada seleccionados para el análisis del corregistro, cualquiera de los casos evaluados es capaz de identificar el patrón de error existente. Los Factores de Correlación Canónicos resultan ser de gran interés, pero no producen una mejora sustancial en la evaluación de las imágenes descartándose por ello su uso frente a la utilización de bandas individuales AHS.

Las imágenes obtenidas tras la corrección basada en los datos de correlación son ahora adecuadas para estudios temáticos posteriores. Sin embargo persisten algunos problemas geométricos que no han podido ser eliminados y que dificultan el análisis píxel a píxel de los datos. Entre las causas de la falta de corrección de estos errores residuales se pueden mencionar, la falta de resolución sub-píxel del método empleado, el remuestreo de las imágenes sobre una malla fija para los dos años, que implica necesariamente un error (Tan et al., 2006) y el uso de un sensor de gran FOV en una zona de gran relieve forestal, que implica la observación de objetos con gran altura.

Es posible explorar la posibilidad de que la herramienta pueda utilizarse también como un estimador de los ángulos de calibración de *boresight*, simplificando los trabajos de campo y permitiendo un seguimiento de dichos ángulos a lo largo de la temporada de campañas, aunque para esta aplicación sería imprescindible contar con la resolución sub-píxel.

La metodología de evaluación presentada se utilizará en el proceso de las campañas AHS multitemporales y los resultados obtenidos servirán para informar al usuario sobre la bondad del ajuste geométrico entre imágenes AHS.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atkinson S. (2001): Satellite imagery rectification, *GIM International*, Vol.15, Nº 11: 72-75.
- Bärs R., Watson L. y Weatherbee O. (1999): AISA as a tool for timely commercial remote sensing, *4th International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition*, Vol.1: 239-246.
- Biesemans J., Sterckx S., Knaeps E., Vreys K., Adriaensen S., Hooyberghs J., Meuleman K., Kempeneers P., Deronde B., Everaerts J., Schläpfer D. y Nieke J. (2007): Image processing workflows for airborne remote sensing, *Proceedings 5th EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*.
- Boardman J. (1999): Precision geocoding of low altitude AVIRIS data: Lessons learned in 1998, *8th Annual JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication 99-17: 63-68.
- Brown L. G. (1992): A survey of image registration techniques, *ACM Computing Surveys*, 24: 326-376.
- Brunn A., Dittmann C., Fischer C., Richter R. (2003): Quality assessment, atmospheric and geometric correction of airborne hyperspectral HyMap data, *Proceedings 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*.
- Clark R.N., Livo E. y Kokaly R.F. (1998): Geometric correction of AVIRIS imagery using on-board Navigation and Engineering data, *7th Annual JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication 99-21: 57-65.

- Dai X., Khorram S. (1998): The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36 (5): 1566-1577.
- Dyk A., Goodenough D.G., Bhogal A.S., Pearlman J. y Love J. (2002): Geometric correction and validation of Hyperion and ALI data for EVEOSD, *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'02, IEEE International*, Vol.1: 579-583.
- Fernández-Renau A., Gómez J.A. y De Miguel E. (2005): The INTA AHS system, *Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites IX*, Proceedings of the SPIE, Vol. 5978: 471-478.
- Glenn N.F., Mundt J.T., Weber K.T., Prather T.S., Lass L.W. y Pettingill J. (2005): Hyperspectral data processing for repeat detection of small infestations of leafy spurge, *Remote Sensing of Environment*, 95: 399-412.
- Gregory S., Hedges P. y Elgy J. (1999): The geometric correction of airborne line-scanner imagery, *Fourth International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition*.
- Guevara V., Reyes A., Salcedo R., Ruiz A. y Torres W. (2004): Evaluación de la precisión en la ortorectificación de imágenes del satélite IKONOS en el área urbana de Caracas, *Revista SELPER*, Vol. 20, N° 1.
- Honkavaara E., Ahokas E., Jaakkola J., Hyypä J., Ilves R. y Vilhomaa J., (2002): Investigations on system calibration of GPS/IMU and camera for Direct Georeferencing, *Proceedings of ISPRS Commission III symposium, Photogrammetric Computer Vision*, Vol. 34, Parte 3B: 1682-1750.
- International Organization for Standardization, (2003): International Standard: Geographic information – Metadata, ISO 19115:2003, Technical Committee 211.
- Jacobsen K. (2002): Calibration aspects in Direct Georeferencing of frame imagery, *IAPRS*, Vol. 34, Parte 1: 82-89.
- Jacobsen K. y Wegmann H. (2001): Dependencies and problems of Direct Sensor Orientation, *OEEPE Workshop Integrated Sensor Orientation*.
- Madani M. y Mostafa M. (2001): ISAT Direct Exterior Orientation QA/QC Strategy Using POS Data, *Proceedings of OEEPE Workshop: Integrated Sensor Orientation*.
- Meyer P. (1994): A Parametric Approach for the Geocoding of Airborne Visible/Infrared Spectrometer (AVIRIS) Data in Rugged Terrain, *Remote Sensing of Environment*, 49(2): 118-130.
- Mostafa M. (2002): Quality control of direct georeferencing data, *Proceedings of Integrated Remote Sensing at the Global, Regional and Local Scale*, IAPRS, Vol. 34, Parte 1.
- Mostafa M. y Mostafa R. (2001): Digital multi-sensor systems – calibration and performance Analysis, *Proceedings of the OEEPE Workshop Integrated Sensor Orientation*.
- Mueller A., Richter R., Habermeyer M., Mehl H., Dech S., Kaufman H., Segl K., Strobl P., Haschberger P. y Bamler R. (2004): ARES – A new reflective / emissive imaging spectrometer for Terrestrial Applications, *Proceedings of SPIE*, Vol. 5574: 120-127

- Müller R., Holzwarth S., Habermeyer M. y Müller A. (2005): Ortho Image Production within an Automatic Processing Chain for hyperspectral Airborne Scanner ARES, *EARSel Workshop 3D-Remote Sensing*.
- Mundt J., Glenn N., Weber K., Prather T., Lass L. y Pettingill J. (2005): Discrimination of hoary cress and determination of its detection limits via hyperspectral image processing and accuracy assessment techniques, *Remote Sensing of Environment*, 96: 509-517.
- Nielsen A., Conradsen K. y Simpson J. (1998): Multivariate Alteration Detection (MAD) and MAF postprocessing in multispectral, bitemporal image data: New approaches to change detection studies, *Remote Sensing of Environment*, 64: 1-19.
- Nilsen, B. (2002): Test field Fredrikstad and data acquisition for the OEEPE Test "Integrated Sensor Orientation", *Integrated Sensor Orientation*, OEEPE Official Publication No. 43: 19-30.
- Roy D. (2000): The impact of misregistration upon composited wide field of view satellite data and implications for change detection, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38 (4): 2017-2032.
- Schläpfer D., Schaepman M. y Itten K.I. (1998): PARGE: Parametric Geocoding Based on GCP-Calibrated Auxiliary Data, *Imaging Spectrometry IV*, SPIE Vol. 3438: 334-344.
- Schläpfer D., Bojinski S., Schaepman M. y Richter R. (2000): Combination of geometric and atmospheric correction for AVIRIS data in rugged terrain, *Jet Propulsion Laboratory*, 429-436.
- Schläpfer D., y Richter R. (2002): Geo-atmospheric processing of airborne imaging spectrometry data. Part 1: Parametric Ortho-Rectification Process, *International Journal of Remote Sensing*, 23(13): 2609-2630.
- Skaloud J. y Schaer P. (2003): Towards A More Rigorous Boresight Calibration, *ISPRS International Workshop on Theory, Technology and Realities of Inertial / GPS Sensor Orientation, Commission 1, WG I/5*.
- Staenz K., Szeredi T. y Schwarz J. (1998): ISDAS - A system for processing/analyzing hyperspectral data, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 24 (2): 99-113.
- Tan B., Woodcock C.E., Hu J., Zhang P., Ozdogan M., Huang D., Yang W., Knyazikhin Y. y Myneni R.B. (2006): The impact of gridding artifacts on the local spatial properties of MODIS data: Implications for validation, compositing, and band-to-band registration across resolutions, *Remote Sensing of Environment*, 105: 98-114.
- Verbyla D. y Boles S. (2000): Bias in land cover change estimates due to misregistration, *International Journal of Remote Sensing*, 21 (18): 3553-3560.
- Wilson A., Mockridge W. y Robinson M. (1997): Post-processing to achieve radiometric and geometric correction of ATM and CASI data, *3rd International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition*, Vol.1: 447-454.
- Zitova B. y Flusser J. (2003): Image registration Methods: A Survey, *Image and Vision Computing*, Vol.21: 977-1000.

Ramón Ojeda, Antonio y Bonilla Perdomo, Carmen (2008): La Carta Etnográfica de Gran Canaria. Las TIG como herramientas de gestión del patrimonio cultural. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 147-156. ISBN: 978-84-96971-53-0.

LA CARTA ETNOGRÁFICA DE GRAN CANARIA. LAS TIG COMO HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL

Ramón Ojeda, Antonio¹ y Bonilla Perdomo, Carmen²

(1) Técnico de Gesplan, S.A. y profesor asociado de la ULPGC. Departamento de Geografía, Pérez del Toro, nº 1. 35003. arojeda@dgeo.ulpgc.es

(2) Técnico de la Consejería de Política Territorial y Ordenación del territorio. Edificio de Usos Múltiples II, 35003. cbonper@gobiernodecanarias.org

RESUMEN

Cada vez es mayor el número de aplicaciones de las tecnologías de la información. El desarrollo de los sistemas de información geográfica ha facilitado tareas comunes de gestión y desarrollo territorial como puede ser el inventario y análisis espacial del patrimonio etnográfico. Utilizando un SIG de uso común se ha podido, no sólo inventariar y gestionar el patrimonio etnográfico de Gran Canaria, sino también realizar una aproximación a su estudio espacial y geográfico. La presente comunicación pretende ser una evidencia de la doble aplicabilidad de los sistemas de información geográfica: en la gestión del patrimonio y en el estudio, análisis e investigación que del mismo puede llevarse a cabo.

Palabras Clave: Patrimonio etnográfico, inventario, análisis espacial.

ABSTRACT

The number of applications of information technology is gradually increasing. The development of systems for the geographic information has facilitated the common task of administration like the inventory and space analysis of the ethnographic heritage. Using a SIG of common use we have been able to make an inventory and manage the ethnographic heritage of Gran Canaria. We have also been able to do an approximate spatial and geographic study of the island. This paper tries to demonstrate the double application of the systems of geographic information: the heritage administration and the study, analysis and research done about it.

Key Words: ethnographic heritage, inventory, space analysis.

INTRODUCCIÓN

La presente comunicación pretende únicamente dar a conocer la Carta Etnográfica de Gran Canaria, un esfuerzo compartido llevado a cabo por no menos de una treintena de personas que, con diverso grado de implicación y responsabilidad han contribuido en mayor o menor medida a realizar un proyecto largo que se ha venido desarrollando desde 1993. En esa fecha, la Dirección General de Patrimonio de Canarias puso en marcha el Inventario de Bienes Inmuebles de Interés Etnográfico, como una iniciativa de ámbito regional cuyo objeto principal era conseguir elaborar un inventario sistemático del patrimonio inmueble en toda Canarias, incluyéndose los bienes histórico-artísticos, arqueológicos y etnográficos.

Proyecto tan extenso y pretencioso debió contar con multitud y variados interlocutores que, durante las primeras fases del mismo sentaron las bases del inventario, de manera que se siguiera una metodología sistemática, común a todas las islas. Los agentes implicados fueron muchos, y entre ellos se contaba la Fundación para el Estudio y Desarrollo de la Artesanía Canaria (FEDAC), organismo autónomo del Cabildo de Gran Canaria.

Los tres paneles de expertos que se constituyeron para definir las características y especificaciones con que debería contar cada uno de los inventarios decidieron los aspectos comunes a los diferentes tipos de patrimonio que pretendían inventariarse. Para el caso concreto del patrimonio etnográfico, se concluyó que deberían incor-

porarse todos aquellos bienes inmuebles asociados a las diversas actividades económicas, productivas, extractivas y comerciales asociadas a la cultura tradicional, excluyendo las viviendas tradicionales, los bienes muebles y la cultura inmaterial. Asimismo, se definieron los criterios de inclusión-exclusión de los bienes, un modelo de ficha con los datos más relevantes que deberían registrarse de cada elemento inventariado y, finalmente, las características de un sistema para su informatización.

Definidos los criterios, cada organismo insular debía proceder a abordar la “fase dura” del proyecto: el inventario, propiamente dicho. Aquí los caminos se bifurcaron y acabó la coordinación que se mantuvo durante las primeras fases del proyecto, pues, mientras que la FEDAC puso su empeño en concluir el Inventario de Bienes Etnográficos Inmuebles, no ocurrió lo mismo con el resto de las islas. Dicho Inventario se ha popularizado bajo la denominación de Carta Etnográfica de Gran Canaria.

OBJETIVO Y ÁMBITO DE ESTUDIO

Un proyecto que nació con pretensión regional quedó reducido a un ámbito insular debido a diversas circunstancias que no es preciso comentar. Lo cierto es que la FEDAC se convirtió en el único administrador del proyecto, y con la colaboración del por entonces Departamento de Arte, Ciudad y Territorio de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, continuó adelante con los trabajos, manteniendo los criterios que inicialmente se habían planteado como apropiados para un inventario de estas características y, en consecuencia, heredando los fundamentos del tipo de elemento que debía ser incluido o excluido de la Carta Etnográfica de Gran Canaria.

Se llevó a cabo entonces el inventariado de todos los bienes inmuebles que contaran con un manifiesto e intrínseco valor etnográfico, prefiriendo en este sentido pecar más por exceso, aún pudiendo caer en el error de incluir elementos de dudoso valor patrimonial, que no dejar fuera del inventario bienes etnográficos inmuebles que, siendo representativos de un pasado económico, constituyeran elementos de la cultura tradicional. Sí que se estableció un “ámbito temporal” que permitiera excluir aquellos bienes cuya antigüedad no alcanzara los 50 años, así como un criterio físico, en tanto en cuanto no debían considerarse elementos que, aunque conocida su existencia pasada, hoy no quedaran restos materiales del mismo, por entender que, en dichas circunstancias se entraría ya en el objeto de la arqueología.

“Son bienes inmuebles de carácter etnográfico (...) aquellas edificaciones e instalaciones cuyo modelo constitutivo sea expresión de conocimientos adquiridos, arraigados y transmitidos consuetudinariamente y cuya factura se acomode, en su conjunto o parcialmente, a una clase, tipo o forma arquitectónicas utilizados tradicionalmente por las comunidades o grupos humanos”
(Ley de Patrimonio)

Figura 1. Descripción literal de los bienes inmuebles de carácter etnográfico según la Ley de Patrimonio.

METODOLOGÍA

Por razones instrumentales, se decidió en su momento efectuar el Inventario de forma sistemática, yendo municipio a municipio y escogiendo por tanto la división administrativa como una práctica común para la ejecución de los trabajos de investigación, por un sencillo y mero criterio operativo.

La labor de inventariado se llevó a cabo metódicamente, siguiendo una pautas comunes para los veintiún municipios de Gran Canaria. En un primer paso se entraba en contacto con los respectivos responsables municipales con el fin de coordinar las tareas del Inventario, acudiendo a la propia alcaldía, o bien a las respectivas áreas de Patrimonio, Cultura o Urbanismo, según el caso.

Acto seguido se procedía a diseñar una estrategia de muestreo delimitando zonas de estudio sobre la cartografía 1:25.000 con el fin de asignar cada una de ellas a un grupo de campo (normalmente constituido por dos personas que solían ser Licenciados en Geografía, aunque se dieron también otros perfiles profesionales entre los componentes de estos equipos de trabajo).

Las labores de rastreo incluían diversas tareas, tanto de gabinete, como de campo. Sobre el terreno se complementaron las fichas que previamente habían sido diseñadas (conformada por un total de 5 folios de diversa información referida a cada uno de los bienes etnográficos). Estas fichas comprendían, asimismo, fotografías y croquis y, por supuesto, una información geográfica mínima que permitiera formalizar la informatización del inventario, así como su georeferenciación.

En un segundo paso se procedía a recabar información complementaria con la que documentar los bienes, incluyéndose en la ficha datos sobre la situación catastral, condición urbanística del suelo donde se ubica cada elemento inventariado, así como datos bibliográficos (textos, mapas, fotografía), siempre que se conociera de su existencia.

Cada uno de los grupos de trabajo debía acabar su labor introduciendo los datos de las fichas por ellos inventariados en el banco de datos de la Carta y localizando los bienes etnográficos sobre la cartografía 1:5.000 para, posteriormente incluir los datos referidos a dicha cartografía, que quedaban también registrados en las fichas.

Durante este proceso se revisó minuciosamente la información que era suministrada a la base de datos, antes de proceder a exportar los datos a un Sistema de Información Geográfica. Aquí se podía ya comprobar la calidad de la información geográfica, revisando coordenadas y comprobando que los bienes estuvieran correctamente localizados.

La eficacia del método respecto a la correcta localización ha sido superior al 99'8%, con un desfase mínimo de posicionamiento que no trasciende los 5 metros, absolutamente asumibles para una cartografía 1:5.000.

Lo más interesante, desde una perspectiva puramente geográfica, es las posibilidades que abre tal ingente información georeferenciada para poder llevar a cabo un análisis de su distribución espacial y poder plantear, y en algunos casos resolver, cuestiones relacionadas sobre la localización del patrimonio etnográfico inmueble.

RESULTADOS

La elaboración del Inventario dio lugar a una información ingente de gran valor científico y documental, que fue necesario procesar y depurar para pasar a un segundo nivel de tratamiento, orientado esta vez a la difusión de dicha información a través de un formato adecuado a los fines perseguidos, así como permitiendo desarrollar una línea de investigación de carácter geográfico.

Esta última línea del proyecto ha permitido realizar un análisis de la distribución espacial del patrimonio etnográfico, a partir de la implementación de diversas capas temáticas con las que poder cruzar los diferentes elementos etnográficos debidamente clasificados para estos fines.

En efecto, partiendo de la base de que los diferentes bienes etnográficos son representativos del pasado económico de Gran Canaria (hipótesis de trabajo) y a partir de una clasificación de los mismos según las actividades a las que dichos bienes se asocian, puede elaborarse un Atlas de la Carta Etnográfica, donde no sólo se recoja el inventario municipal de cara a su potencial consulta y difusión, sino que también se pueda abordar un análisis de la distribución espacial de dicho patrimonio.

Con esta doble finalidad, la Carta Etnográfica (en su concepción de Carta, y no ya como mero Inventario), se presenta como un documento cartográfico que incluye dos series cartográficas principales: una Serie 1:25.000 o cartografía municipal; y una serie 1:200.000 o cartografía temática, de ámbito insular.

La primera de estas series constituye el núcleo central de la Carta Etnográfica, donde la componente cartográfica es esencial, pero queda complementada por los textos y estadísticas que la acompañan. Esta serie cartográfica municipal queda conformada por un total de 56 documentos.

Respecto a los mapas de ámbito insular, estos tratan ya aspectos temáticos, donde no aparece la totalidad de los bienes inventariados, sino que se incluyen únicamente aquellos que son representativos de una determinada actividad (agricultura, ganadería, gestión hidráulica, etc). Se trata de un atlas histórico-geográfico donde se ponen en relación los bienes etnográficos y aquellos aspectos geográficos e históricos que influyen en su ubicación y distribución espacial. El patrimonio etnográfico se aborda aquí desde una perspectiva temática vinculada con la actividad económica tradicional con la que se encuentran relacionados los bienes. El análisis es ahora insular, y no municipal.

Entre las variables ecológicas e históricas consideradas en este análisis se encuentran las siguientes:

- Geomorfología
- Formaciones geológicas
- Pendientes
- Franjas altitudinales
- Capacidad agrológica del suelo
- Cursos de agua (barrancos)
- Vegetación potencial
- Vegetación actual
- Distribución actual de usos agrícolas
- Distribución actual del edificado
- Distribución histórica de los principales caseríos

Al cruzar los bienes etnográficos debidamente clasificados con las distintas variables ecológicas e históricas (cada una de las cuales constituye una capa en el sistema de información geográfica empleado), se puede analizar convenientemente la distribución espacial del patrimonio etnográfico de Gran Canaria, desentrañando algunos de los interrogantes que explican el patrón de distribución.

CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se ha llegado tras la realización del proyecto de la Carta Etnográfica de Gran Canaria deben diferenciarse entre, aquellas referidas al valor documental de la Carta, y las relacionadas con la distribución espacial de los bienes etnográficos.

Conclusiones sobre el valor documental de la Carta Etnográfica

Se puede sintetizar en los siguientes puntos:

- La Carta Etnográfica de Gran Canaria constituye una herramienta de primera magnitud para el estudio del patrimonio etnográfico inmueble y las actividades que le son consustanciales.
- El Inventario es un banco de datos abierto, donde se producen altas, bajas y modificaciones.
- El empleo de una herramienta de gestión de datos georeferenciados ha demostrado una total versatilidad para el manejo eficiente de la información de cara al análisis de la distribución espacial del patrimonio etnográfico.
- De cara a una gestión del patrimonio, incluso para su estudio, la serie cartográfica municipal 1:25.000 constituye el documento esencial para la búsqueda y manejo de los datos, complementada eficientemente por las herramientas de búsqueda que posteriormente han sido desarrolladas y puestas a disposición de los usuarios en la red.

- El tratamiento de los datos por municipios permitió unificar criterios y realizar un control de calidad con el que corregir en parte el sesgo personal y subjetivo de la toma de datos.
- La clasificación inicial de los bienes según actividad y tipología se manifestó útil para las primeras fases de este proyecto, pero debió ser replanteada para profundizar en el estudio de la distribución espacial del patrimonio etnográfico inmueble.
- Las 8.847 fichas contabilizadas en el momento de cerrar la primera fase de este proyecto no constituyen, en absoluto, una cifra definitiva.

Conclusiones sobre la distribución espacial de los bienes etnográficos

A tenor de los resultados obtenidos y en un esfuerzo de síntesis, se puede concluir respecto a la distribución espacial del patrimonio etnográfico lo siguiente:

- La distribución de los bienes está condicionada por aspectos tanto históricos como ecológicos.
- La distribución espacial de los bienes reproduce la dualidad ecológica y territorial de Gran Canaria.
- Además, existe una estrecha y directa relación entre el patrimonio etnográfico y la localización del poblamiento.
- El dominio claro de los elementos agrícolas e hidráulicos es fiel reflejo del carácter agrícola dominante de la economía tradicional.
- El clima, en conjunción con el relieve, y pese a ser una variable no representada cartográficamente, representa un factor que condiciona la distribución de usos sobre el territorio y, en consecuencia, también la distribución del patrimonio etnográfico que se vincula a esos usos.
- La pendiente es un factor limitante a partir de determinados rangos que podemos situar entre el 40 y el 50%.
- La disponibilidad y acceso al agua condiciona la distribución de poblamiento y patrimonio etnográfico.
- Podemos hablar de un periodo de inflexión histórico coincidente con la terciarización económica experimentada en la 2ª mitad del siglo XX.
- Dicha terciarización ha contribuido a que el poblamiento pase de ser un foco de atracción para el patrimonio, a convertirse en elemento disuasivo. El crecimiento urbano ha contribuido a la pérdida de elementos etnográficos.
- Existe un patrimonio etnográfico asociado a la producción mercantilista que se apropia de los terrenos mejor comunicados de la costa dominados por los cultivos de exportación. Este patrimonio se diferencia del que aparece en medianías y cumbres, denotando una estructuración altitudinal del patrimonio etnográfico.

El futuro

- Es importante que a raíz del tirón que representa la presentación de la carta en Gran Canaria, otras islas sigan el ejemplo y culminen sus respectivos inventarios, siempre manteniendo unos criterios uniformes.
- Aunque la carta representa una nueva fase en el inventario de bienes etnográficos inmuebles, ésta no es en absoluto conclusiva.
- El banco de datos debe permanecer en continua evolución, incorporando nuevos bienes, dando de baja a los ya desaparecidos, incorporando nueva información y actualizando la existente.
- La participación de los ayuntamientos será decisiva en las próximas fases de este proyecto. El mantenimiento del Inventario debe contar con los agentes municipales.
- Son precisamente los entes municipales los encargados de redactar los catálogos de patrimonio, documentos esenciales en la preservación de los bienes.

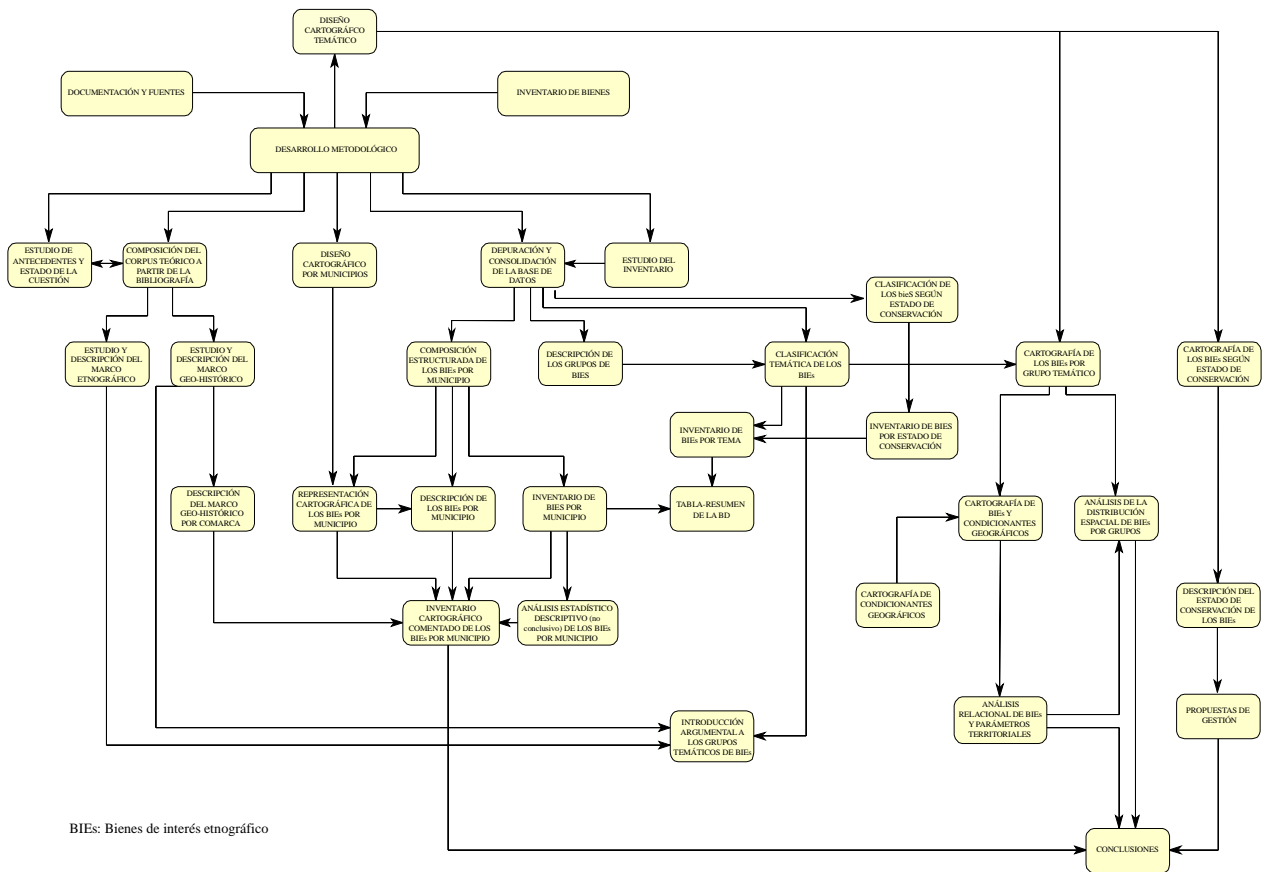


Figura 2. Esquema metodológico

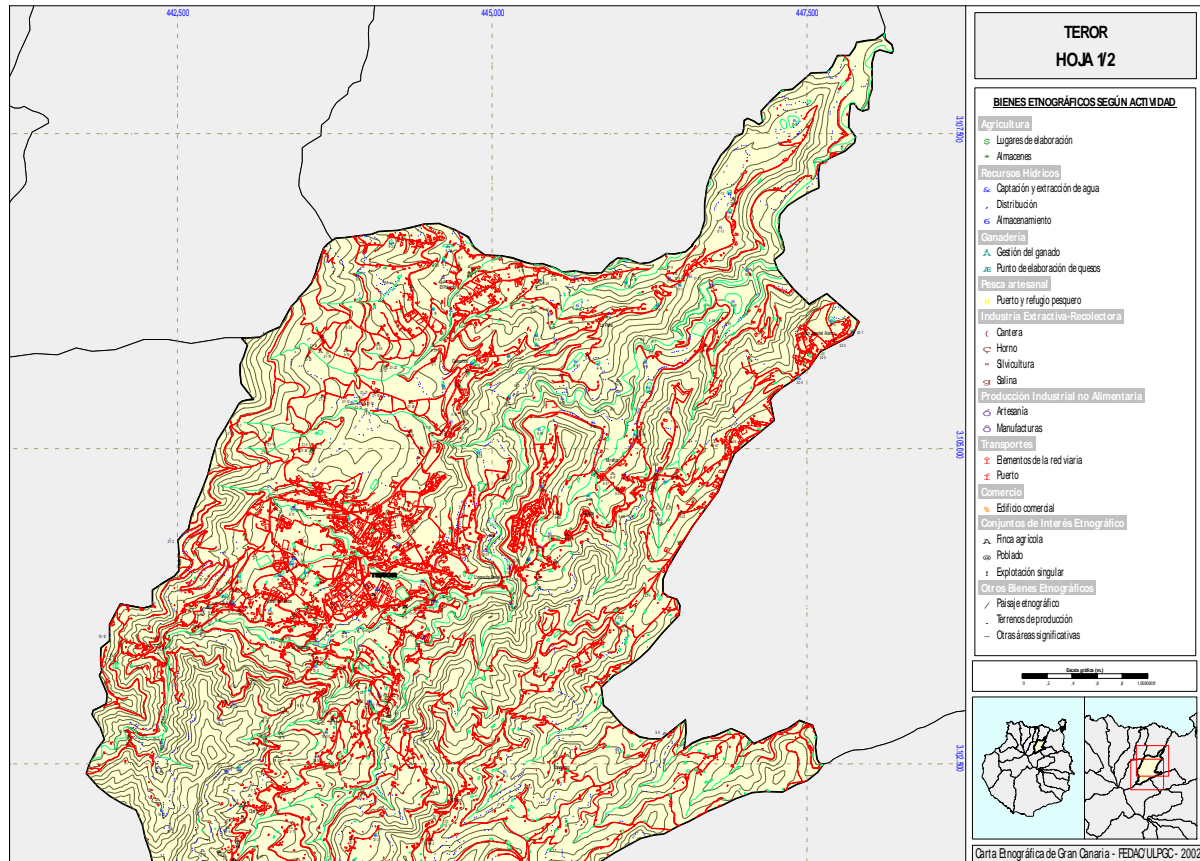


Figura 3. Ejemplo de cartografía correspondiente a la serie municipal (1:25.000)

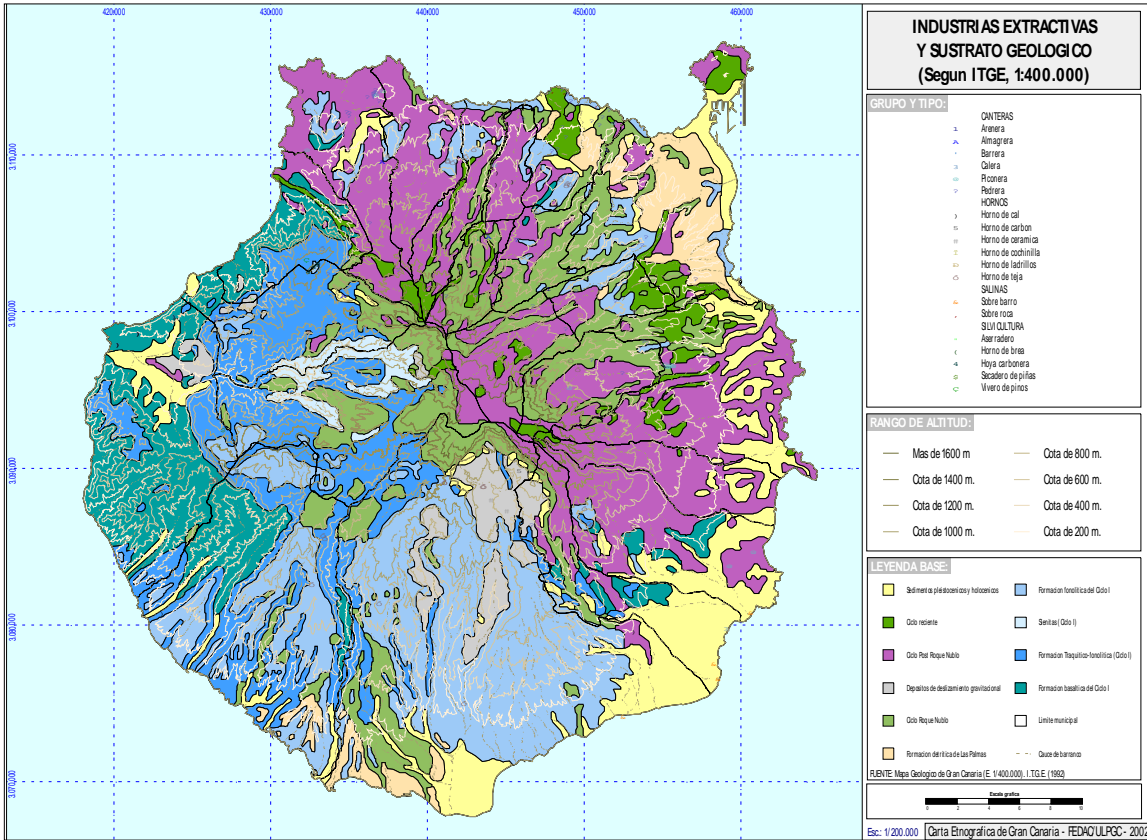


Figura 4. Ejemplo de cartografía correspondiente a la serie temática insular (1:200.000)

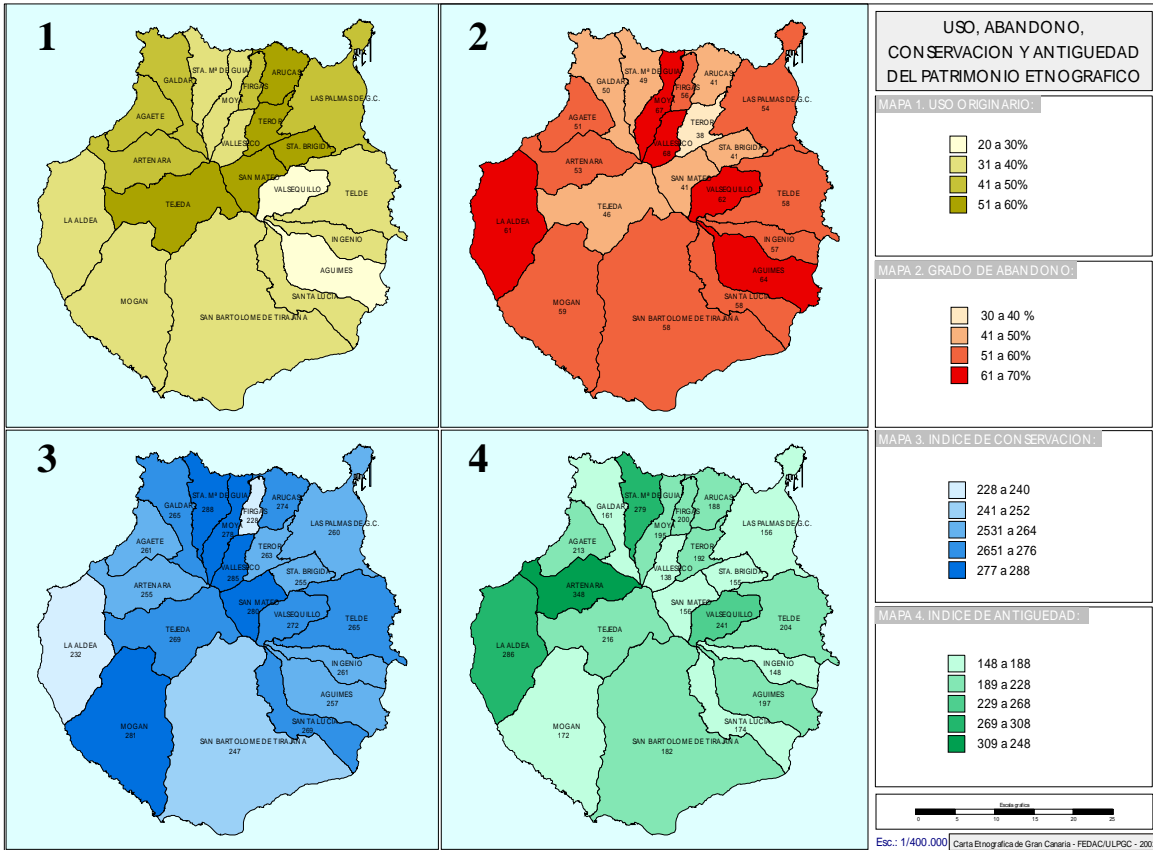


Figura 5. Cartograma estadístico



Figura 6. Ejemplos de algunos bienes etnográficos inmuebles

Rodriguez-Gonzalez, A.; Fernandez-Turiel, J.L.; Perez-Torrado, F.J.; Gimeno, D. y Aulinas, M (2008): Tecnologías de la información geográfica para la evaluación morfométrica del volcanismo. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 157-166. ISBN: 978-84-96971-53-0.

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA EVALUACIÓN MORFOMÉTRICA DEL VOLCANISMO

Rodriguez-Gonzalez, A.¹; Fernandez-Turiel, J.L.²; Perez-Torrado, F.J.¹; Gimeno, D.³ y Aulinas, M.³

(1) Dpto. Física (Geología), ULPGC. 35017 Las Palmas de Gran Canaria. alerglez@gmail.com; fperez@dfis.ulpgc.es

(2) Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, CSIC. C/ Solé i Sabaris s/n, 08028 Barcelona. jlfernandez@ija.csic.es

(3) Dpto. Geoquímica, Petrología i Prospecció Geològica, UB. 08028 Barcelona. domingo.gimeno@ub.edu; meritxellaulinas@ub.edu

RESUMEN

A partir de una cuidadosa reconstrucción paleogeomorfológica del terreno volcánico puede realizarse un modelado morfométrico preciso, gracias al cual y partiendo de la topografía actual se obtienen mapas topográficos y modelos digitales del terreno (MDT) previos y posteriores a la erupción. Para su logro, es necesario discutir el tamaño de pixel correcto, los métodos de interpolación y la calidad de los MDT, es decir, deben definirse los criterios necesarios para determinar la precisión y exactitud de los distintos parámetros morfométricos. En un entorno de Sistema de Información Geográfico (SIG), la información geológica de los conos, lavas y depósitos piroclásticos de caída, así como los MDT antes mencionados, permiten determinar las principales características morfológicas de estos edificios (e.g., volumen de materiales, pendientes del terreno pre-erupción y post-erupción, simetría de los conos, etc.). La calibración y validación de los modelos morfométricos se realizó en terrenos volcánicos simulados, mientras que para la verificación se tomó como ejemplo volcanes de menos de 10.000 años en Gran Canaria que se encuentran muy bien preservados. La metodología desarrollada tiene un interés general, siendo aplicable igualmente a otros contextos geodinámicos, tanto en la Tierra como en otros planetas interiores del Sistema Solar.

Palabras Clave: volcán, lava, morfometría, MDT, SIG.

ABSTRACT

An accurate and precise morphometric modelling can be extended to past eruptions after a careful paleogeomorphological reconstruction of volcanic landforms in a setting of oceanic island. This reconstruction was used to create contour maps to derive the pre-, post-eruption and present-day digital elevation models (DEM). The right pixel size, interpolation method and quality of these DEMs were discussed. The process in a GIS framework of the geological information of cone, lava flow and tephra fall deposits together and the before-mentioned DEMs allowed determining the main morphological features of these volcanic landforms and their derivatives (e.g., eruption volume and pre-eruption slopes). The criteria needed to obtain accurate and precise measurements of the currently used morphometric parameters were defined. The calibration and validation of the morphometric modelling was performed on simulated volcanic landforms. The verification of the procedures was carried out on recent (<10,000 yr) volcanoes at Gran Canaria Island (Spain), the erosional history of which is in the first step of degradation. The proposed morphometric modelling is of general interest due to it is applicable to other geotectonic settings in the Earth and in the other inner planets of the Solar System.

Key words: volcano, lava flow, morphometry, DEM, GIS.

INTRODUCCIÓN

El modelado en morfometría volcánica proporciona mediciones fiables de la erupción a través de la morfología del edificio y permite derivar, por ejemplo, el volumen de materiales extruidos, la pendiente y las orientaciones del terreno. Estos parámetros son importantes para determinar la acumulación o degradación de los terrenos volcánicos. En relación a los cambios en la morfología y en las tasas volumétricas de acumulación, estos parámetros permiten comprender procesos volcánicos como el comportamiento eruptivo, la dinámica del mag-

ma y los ciclos eruptivos, así como predecir el riesgo de un volcán y realizar el correspondiente plan de mitigación (Harris et al., 2007a; Mazzarini et al., 2005; Murray y Stevens, 2000; Rowland et al., 2003; Stretch et al., 2006). Respecto a la degradación, las variaciones de la morfología original permiten comprender los patrones que afectan a la erosión o a los movimientos de masas y su evolución, facilitando la evaluación de los riesgos asociados (Branca y Del Carlo, 2005; Hooper y Sheridan, 1998; Thouret, 1999).

Los parámetros morfométricos tienen en común que pueden ser medidos después de la erupción, sin conocimiento de los fenómenos en función del tiempo. Esto es una ventaja cuando no hay datos que dependen de parámetros temporales medidos durante la erupción, como la duración, la velocidad de las coladas de lavas y aquellos relacionados con las tasas efusivas, que sólo pueden ser obtenidos para las erupciones históricas o actuales. En consecuencia, los modelos morfométricos pueden ser aplicados al vulcanismo antiguo y presente. Muchos cálculos previos de la morfometría volcánica se basan en la aplicación de métodos por fórmulas derivadas. Por ejemplo, el volumen del cono tradicionalmente se calcula mediante la fórmula geométrica del cono truncado (Wood, 1980a; Wood, 1980b), mientras que el volumen de la colada de lava se determina multiplicando el área cubierta de lava por la potencia media estimada (Borelli, 1670). En volcanes de todo el mundo, los volúmenes de coladas se suelen dar en órdenes de magnitud, por la escasa precisión de la mayoría de los cálculos (Simkin y Siebert, 1994).

Los avances en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) proporcionan un adecuado marco metodológico para la elaboración de modelos morfométricos de erupciones volcánicas. Los parámetros morfológicos y sus derivados se pueden determinar con mayor exactitud que con los métodos anteriormente citados. El procesamiento en el SIG de la información obtenida durante el trabajo de campo, junto a los antecedentes de cartografía geológica (unidades volcánicas, estructuras, etc.) y la superficie del terreno (mapas topográficos) permite obtener los datos morfométricos en terrenos volcánicos.

Los datos morfométricos usados comúnmente para los modelos volcánicos se presentan en la Tabla 1 (Harris et al., 2007b; Wood 1980a).

Tabla 1. Parámetros morfométricos y derivados del cono y la colada de la lava que actualmente se utilizan para estudios de acumulación y degradación en el modelado volcánico.

Cono volcánico	Colada de lava
Radio superior del cono (r)	
Radio base del cono (R)	
Radio superior del cráter	
Radio inferior del cráter	
Profundidad cráter	
Azimuth apertura de cráter	
Altura del cono (h)	Potencia (h)
	Longitud
	Ancho
	Área
Volumen (V)	Volumen (V)
Pendiente del cono (post-erupción)	
Orientación del cono (post-erupción)	
Pendiente sustrato (pre-erupción)	Pendiente del sustrato (pre-erupción)
Orientación del paleorelieve (pre-erupción)	Orientación del paleorelieve (pre-erupción)

Las diferentes herramientas de los programas de SIG permiten una medición directa y precisa de los parámetros horizontales (diámetro, longitud,...). Sin embargo, es necesario llevar a cabo algún tipo de proceso para determinar los parámetros verticales (altura del cono, profundidad del cráter, etc.). El modelado de superficies desempeña un papel fundamental para la comparación del antes y el después de la erupción. Los efectos de la erupción sobre la topografía se analizan utilizando los modelos digitales del terreno (MDT) (Rowland et al., 2003).

El objetivo de este trabajo es proponer una metodología para una efectiva aplicación de modelos morfométricos a erupciones pasadas, de forma que se puedan determinar los parámetros morfológicos y sus derivados con una confianza razonable en un entorno de isla oceánica. El primer paso fue calibrar y validar los procedimientos usando edificios volcánicos simulados (Favalli et al., 2004). Una vez logrado este objetivo, la metodología se ha verificado en un caso real, una erupción basáltica típica en una isla volcánica intraplaca. Para ello, se llevó a cabo una intensa y cuidadosa reconstrucción paleogeomorfológica de la superficie volcánica anterior y posterior a su erupción. La metodología desarrollada tiene un interés general, siendo aplicable igualmente a otros contextos geodinámicos, tanto en la Tierra como en otros planetas interiores del Sistema Solar.

MODELO MORFOMÉTRICO

La dificultad en encontrar edificios volcánicos conservados y conocer sus dimensiones exactas, condiciona al desarrollo de modelos simulados de edificios volcánicos para la calibración y validación de metodologías. Para resolver esto, se han simulado las dos formas volcánicas que se analizan morfométricamente: el cono y la colada de lava. El cono se representa como un cono truncado y con un cono truncado menor invertido en la parte superior para simular el interior del cráter, y la colada de lava por un prisma trapezoidal. Estos modelos simulados presentan unas dimensiones en un orden de magnitud similar a los típicos edificios volcánicos monogénicos de erupciones basálticas (Tabla 2). La escala adecuada para las magnitudes de estos edificios volcánicos es a 1:5.000. Esta escala es usada como referencia para la construcción de los modelos simulados del cono y la colada de lava.

Tabla 2. Mediciones obtenidas a partir de los modelos simulados del cono y lava utilizados en la evaluación de la precisión y exactitud del MDT.

	Unidad	Cono simulado	Lava simulada
Radio superior del cono (r)	m	100	
Radio inferior del cono (R)	m	300	
Radio superior del cráter	m	100	
Radio inferior del cráter	m	10	
Profundidad cráter	m	45	
Longitud lava (L)	m		4000
Ancho del techo de lava (wt)	m		280
Ancho base de lava (wb)	m		300
Potencia (h)	m	100	10
Cota base de lava (z)	m	100	100
Volumen (V)	m ³	13090493	11600000

Todos los parámetros morfométricos de la Tabla 1 se validan en el cono y lava construidos, por medio de las herramientas disponibles en el programa de SIG. Para ello se ha usado el TNTmips desarrollado por la empresa Microimages. El propósito principal de este trabajo es demostrar una metodología general en el cual todos los procedimientos se definen pensando en su disponibilidad en la mayoría de los programas SIG comerciales comúnmente usados.

Algunos de los parámetros morfométricos pueden ser obtenidos por mediciones lineales en un plano horizontal o derivados de éstos. Sin embargo, muchos otros parámetros muestran una componente vertical donde una superficie de terreno debe ser considerada. Lo más efectivo es el uso de unos modelos de elevación del terreno que facilitan una medición más exacta de los parámetros horizontales. Un MDT es una superficie que se representa como un objeto raster el cual combina información geoespacial (x, y) con valores de elevación (z).

Existen varias fuentes para obtener un modelado de la superficie del terreno. Normalmente la más usada es una cartografía digital, con curvas de nivel, la cual permite obtener por métodos de interpolación una superficie con una malla regular, donde a cada celda o pixel se le asigna un valor y se expresa, en conjunto, como un raster. Dos cuestiones claves para la obtención de un MDT son la selección del tamaño de pixel correcto y el método de interpolación para generar el modelo de superficie.

EL TAMAÑO DE CELDA CORRECTO EN EL MDT

La entidad espacial fundamental en un raster basado en SIG es una celda (Demers, 2001), que prácticamente similar a un pixel. Sin embargo, un pixel es el concepto tecnológico y una celda es el modelo. Una malla representa las propiedades ideales como matriz ortogonal y de una resolución fija; un pixel no necesariamente tiene estas propiedades. Un ejemplo que muestra esta diferencia es que una fotografía aérea generalmente necesita ser ortorectificada para obtener un modelo de celdas regular. Estos procesos generan un raster donde la resolución de la celda y el tamaño de pixel tienen el mismo valor.

Una adecuada resolución del raster se basa en los datos de entrada, los cuales deben coincidir con las dimensiones de las características del terreno que sean de interés. Por ejemplo, en una colada de lava, la resolución del raster debe permitir un avance cuantitativo en las investigaciones de geomorfología volcánica. Sin necesidad de procesar una cantidad ingente de datos, el método recomendado para determinar la resolución del raster se basa en la escala de trabajo mínima, asumiendo que el objeto mínimo distinguible en un mapa es el tamaño de 1x1 mm (EUROSTAT, 2001). Esta área de 1 mm² corresponde al trazado mínimo legible en un mapa. Dependiendo de la escala del mapa, esta unidad representa la variable de superficie en el terreno. Por ejemplo, a una escala de 1:5.000 la superficie más pequeña para ser representada es de 25 m² (5x5 m en el terreno se corresponde a 1x1 mm en el mapa). Por lo tanto, la resolución de las celdas puede ser determinada usando la siguiente fórmula:

$$p = SF \times MLA$$

Donde p es el tamaño de celda (pixel), SF es el factor escala y MLA es el área mínima legible en el mapa expresada en metros. A una escala 1:5.000, p es:

$$p = 5,000 \times 0.001 = 5m$$

MÉTODO DE INTERPOLACIÓN PARA OBTENER EL MDT

La elección del método de interpolación para generar un MDT depende de los datos de entrada (datos de puntos, curvas de nivel, imágenes de pares estereoscópicos, etc.), de las características del terreno y de los efectos del modelado digital (Baldi et al., 2006; Szekely y Karatson, 2004; Yilmaz, 2007). Diferentes métodos de interpolación pueden ser utilizados para obtener un modelo raster, con valores de celda regulares y a partir de los datos de entrada de curvas de nivel. Los métodos más adecuados para estos datos de entrada son: Curvatura Mínima, Inverso a la Distancia y por Perfiles. Estos métodos están disponibles normalmente en programas de SIG comercial.

El método de Curvatura Mínima se realiza en dos pasos: de inicialización e iteración. El algoritmo de inicialización aplica una función spline cúbica de dos dimensiones para que se ajuste a una superficie plana en la entrada de valores de elevación; después los valores de celdas en el raster requieren una serie de iteraciones de ajuste de la superficie para obtener un resultado final que tenga una curvatura mínima (Smith y Wessel, 1990; Yilmaz, 2007).

El método de Inverso a la Distancia, selecciona una serie de puntos de entrada próximos entre si para interpolar un valor de superficie para cada celda en la imagen de salida. El parámetro de área de búsqueda determina la forma del área seleccionada, mientras que el parámetro de distancia de búsqueda determina su tamaño (Microimages, 2007; Yilmaz, 2007).

El método de Perfiles utiliza una interpolación lineal multidireccional para crear el raster de superficie (Microimages, 2007). El algoritmo calcula un raster usando las extensiones de los objetos de entrada y el tamaño de celda especificado. Las celdas del raster que se cruzan con los datos de entrada (curvas de nivel) se le asignan el valor de superficie asociado. Primero se procesan sólo las celdas de borde paralelas al mismo. Para otras celdas el proceso busca en otras ocho direcciones diferentes, utilizando el par de valores más próximo (incluyendo los valores de las celdas de los bordes) para así asignarles una valor de salida interpolado. El paso final en el método de perfiles es el suavizado de la superficie, usando un algoritmo de filtro espacial.

CALIDAD DEL MDT

Un MDT no es una representación directa de los datos de entrada. Los métodos de interpolación pueden introducir tendencias y patrones que no se observan en la superficie real. Los valores de las variables que afectan a estos algoritmos deben ser seleccionados cuidadosamente a través del control de calidad del MDT resultante. Con el fin de comparar experimentalmente la eficacia del método de interpolación en la generación de MDT y de su calidad, la exactitud se evalúa a través de trabajos complementarios:

- 1) Comparando los datos de entrada (elevación de las curvas de nivel) con los valores interpolados del MDT resultante.
- 2) Comparando los volúmenes calculados de superficies en 3D.
- 3) Comparando las pendientes calculadas de superficies en 3D.

Cuando se compara el MDT con los datos de entrada (e.g., el objeto vector de curvas de nivel rasterizadas), los dos factores que miden exactitud del MDT son el error medio (ME) y el error de la desviación estándar (S) (Fisher y Tate, 2006):

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (z_{DEM} - z_{ref})}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((z_{DEM} - z_{ref}) - ME)^2}{n-1}}$$

Donde z_{DEM} y z_{ref} son las cotas del MDT y de las curvas de nivel de referencia para cada celda i , respectivamente; n es el número total de de celdas usadas para el cálculo. Cuando el error medio (ME) es cero, S es igual a la raíz cuadrada del error medio ($RMSE$). El $RMSE$ es el factor más usado para la evaluación en los errores del MDT (Fisher y Tate, 2006; Yilmaz, 2007):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_{DEM} - z_{ref})^2}{n-1}}$$

El error medio, la desviación estándar, los valores máximo y mínimo obtenidos a partir de los tres métodos de interpolación en los MDT del edificio volcánico y la colada de lava, se muestran en la Tabla 4. El error medio es cero, por lo tanto la desviación estándar y el *RMSE* coinciden. Estos valores son similares para los tres métodos, siendo 0 m en el primer caso y variando entre 0 y 1 m en el segundo. Los valores máximos y mínimos están condicionados por el tamaño de pixel (5 m).

Tabla 4. Diferencias entre los datos de entrada (curvas de nivel) y los MDT resultantes de la aplicación de los tres métodos de interpolación utilizados.

	Método interpolación MDT		
	Curvatura Mínima	Inverso a la Distancia	Perfiles
<i>Modelo cono volcánico</i>			
Número de celdas	12362	12362	12362
Media aritmética (m)	0	0	0
Desviación estándar (m)	0	1	1
Mínimo (m)	-2	-5	-5
Máximo (m)	3	5	5
<i>Modelo colada de lava</i>			
Número de celdas	4379	4379	4379
Media aritmética (m)	0	0	0
Desviación estándar (m)	0	1	1
Mínimo (m)	-5	-5	-5
Máximo (m)	5	1	1

Otro método para cuantificar la eficacia de los métodos de interpolación en los MDT es a través de estimaciones de volúmenes (Yilmaz, 2007). El reto de este procedimiento es la dificultad de conocer el volumen de las unidades volcánicas. Para resolver esta cuestión, a los modelos de cono y colada de lava se aplican ecuaciones de cálculo geométrico (Tabla 5). La ecuación expresada para el volumen de un cono truncado es:

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + Rr + r^2)$$

Donde *h* es la altura, *R* y *r* el radio de la base y el techo respectivamente. El volumen total del cono simulado se obtiene restando el volumen del cono invertido que representa al cráter.

La ecuación expresada para el volumen de un prisma trapezoidal es:

$$V = \frac{1}{2}h(w_t + w_b)L$$

Donde h es la altura o potencia media de la colada, w_t y w_b el ancho medio del techo y base de la colada de lava, y L es la longitud.

Tabla 5. Comparación de los volúmenes obtenidos a partir de las fórmulas geométricas y de con los métodos de interpolación.

	Ecuación Geométrica (EG)	Método interpolación MDT		
		Curvatura Mínima	Inverso a la distancia	Perfiles
<i>Modelo cono volcánico</i>				
Volumen (m ³)	13090493	13083414	13102378	13087396
Diferencia de Volumen respecto a EG (m ³)		-7079	11885	-3097
Tasa aproximación (%)		99,95	100,09	99,98
<i>Modelo colada de lava</i>				
Volumen (m ³)	11600000	11553538	11495865	11519202
Diferencia de Volumen respecto a EG (m ³)		-46462	-104135	-440798
Tasa aproximación (%)		99,60	99,10	96,20

Un método alternativo para calcular volúmenes es comparando dos MDT de igual área e identificar zonas (píxel) donde existan diferencias en los valores de elevación. Los MDT comparados representan la parte inferior y superior de un cuerpo. Este método se aplica directamente al cálculo de volúmenes de erupciones volcánicas, comparando dos MDT que representan el antes y después de la erupción. Los volúmenes así calculados se presentan en la Tabla 5. Los tres métodos de interpolación tienen mayor porcentaje de exactitud en los resultados del cono que en la colada de lava (ver Tabla 5). Esta diferencia es debido a las diferentes elevaciones para una misma área.

Otro enfoque para determinar la calidad del MDT es tomando como referencia las pendientes de la superficie. La inclinación de la pendiente influye sobre el número de curvas disponibles que son medidas para obtener la elevación y, por consiguiente, afecta a la precisión del MDT. Como ocurre en el caso del volumen, se recurren a modelos de superficie artificiales. Se aplicó el modelo del cono descrito anteriormente, ya que el parámetro de pendiente es importante para entender la evolución de los conos aplicando estos métodos en morfometría volcánica. El procedimiento se realiza a partir de los flancos del cono, excluyendo el interior del cráter, ya que presenta diferentes grados de pendiente, con lo que se obtiene una media de 28°. Los resultados obtenidos por los tres métodos de interpolación muestran una media y una mediana en torno a los 27°.

Estos datos son especialmente útiles para validar el tamaño de celda usado en el MDT, por lo que una resolución muy alta da paso a una interpretación equivocada de las pendientes en la superficie. Por ejemplo, cuando la media de la pendiente del cono se calcula para un tamaño de celda de 2,5 m, el histograma del MDT muestra una distribución bimodal de las pendientes, una corresponde a la pendiente real y la otra es producida por los cálculos.

Como síntesis, la resolución del MDT más adecuada a escala de trabajo de 1:5000 es de 5 x 5 m aplicando en los tres métodos de interpolación (curvatura mínima, inverso a la distancia y por perfiles). El método recomendado es el de Curvatura Mínima porque es aplicable a todo tipo de terrenos y es más rápido en los cálculos. El método de perfiles, crea "agujeros" en el MDT, sobre todo en zonas llanas y el método de inverso a la distancia tiene un procesamiento en los cálculos muy lento.

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DEL CONO

Los parámetros morfométricos del cono (ver Tabla 1) se calculan para el cráter, el interior del cráter, el resto de la superficie del cono (flancos) y la superficie inferior del cono. Esta última coincide con la superficie previa antes de la erupción.

El eje mayor (a) y menor (b) del cráter y la base del cono se calculan con la herramienta disponible para ello en el programa de SIG. Se ajusta a la forma de cráter y la base del cono y directamente muestra la información.

La excentricidad (e) calcula el grado de elongación del cráter y la base del cono; se define como:

$$e = \sqrt{1 - \frac{(b/2)^2}{(a/2)^2}}$$

El valor de excentricidad (e) varía entre $0 \leq e < 1$, donde $e=0$ representa un cráter o base del cono perfectamente circular.

Los azimut del eje mayor del cráter y base del cono se expresan como los ángulos horizontales que forman respecto al norte y en el sentido de las agujas del reloj, hasta los ejes principales. Este parámetro no se aplica a un cono y cráter perfectamente circular. La profundidad del cráter se calcula por la diferencia que existe entre la máxima elevación del cráter y la media de elevación en el resto del cráter. Estos valores se obtienen de los respectivos MDT. La altura del cono se define como la diferencia que existe entre la máxima elevación del cráter y la media de elevación de la base del cono (obtenido a partir del MDT antes de la erupción).

El volumen del cono se calcula con las diferencias de elevación existentes entre los MDT de las superficies antes de la erupción y después de la erupción, como se ha explicado en el apartado de calidad del MDT. Las pendientes y orientaciones del sustrato y del cono se obtienen desde los MDT antes y después de la erupción. Estos resultados se procesan para determinar y analizar los parámetros estadísticos básicos.

La precisión de las medidas en los parámetros longitudinales y volumétricos es inferior a $\pm 2\%$ y sólo en lo que respecta a la profundidad del cráter supera ligeramente este umbral de precisión (2,2%).

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA COLADA DE LAVA

Muchas características en una colada de lava pueden ser interpretadas como valores aislados. Sin embargo, el significado de estos sigue siendo poco claro cuando se consideran por separado, porque algunas veces no representan la complejidad de los datos. En contraste con el cono, la topografía del sustrato es mucho más decisiva en los procesos volcánicos que determinan la morfometría. En consecuencia, el uso de valores aislados para el análisis de la colada, debe ser evaluado cuidadosamente.

En este apartado se describen los criterios usados para determinar la forma más común de utilizar los parámetros morfométricos en el análisis de la colada (ver Tabla 1). Una colada se representa como una sola unidad poligonal que corresponde a una capa vector en un SIG. La longitud de la colada de lava se obtiene con las herramientas de las que dispone el programa de SIG. El ancho de la colada de lava por lo general varía a lo largo de todo el recorrido debido a las propiedades reológicas del magma y a la topografía previa (e.g., un fondo de barranco actúa como canal para el flujo). Por lo tanto, un único valor del ancho de la colada no es adecuado para representar las funciones morfométricas, por eso es mucho mejor trabajar con perfiles transversales a lo largo de la dirección del flujo para analizar su variabilidad (Mazzarini et al., 2005). En el caso del modelo simulado, todas las secciones son idénticas, lo que hace innecesario este procedimiento. En cambio, para los casos reales, la variabilidad en los valores de anchura va a permitir unos cálculos estadísticos más realistas. A partir de la intersección de estos perfiles con el eje longitudinal, se obtienen también los datos de elevación y pendiente. El área de la colada de lava se expresa como el área del polígono del vector en un plano. La potencia o espesor de la colada de lava se calcula por la diferencia de superficies entre el antes y después de la erupción (Rowland et al., 2003). Se considera un valor medio de espesor o potencia, pero esta metodología puede ser aplicada a casos

más complejos donde será necesario añadir otros parámetros específicos para el desarrollo de los modelos morfométricos; como es el caso de las coladas de lava en todo su recorrido con levees, donde un parámetro importante es el espesor del levee (Mazzarini et al., 2005). Tanto el volumen, la pendientes y la orientación del terreno se obtienen de la misma manera que para el cono. La precisión en las medidas de los parámetros longitudinales y volumétricos es inferior a $\pm 1\%$. En cuanto a la pendiente, se comporta de la misma manera que para el cono. Por lo tanto, es más ventajoso trabajar con los rasters de pendiente que con los valores medios.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en los proyectos PI2002/148 del Gobierno de Canarias; GRANCA (Ref. CGL2004-04039/BTE) de la CICYT y el Grupo de Investigación Consolidado PEGEFA (SGR-2005-795, Generalitat de Catalunya).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baldi, P., Fabris, M., Marsella, M., Monticelli, R. y Achilli, V. (2006): Application of digital terrain model to volcanology. *Annals of Geophysics*, 49 (4-5): 1059-1066.
- Borelli, I.A. (1670): *Historia et meteorologia incendii Ætnae anni 1669*. Academia Pisana, Officina Dominici Ferri, 124 pp.
- Branca, S. y Del Carlo, P. (2005): Types of eruptions of Etna volcano AD 1670-2003: implications for short-term eruptive behaviour. *Bulletin of Volcanology*, 67 (8): 732-742.
- DeMers, M.N. (2001): GIS modelling in raster. *Wiley, West Sussex*, 208 pp.
- EUROSTAT (2001): *Manual of concepts on land cover and land use information systems*. European Communities, Luxembourg, 106 pp.
- Favalli, M., Mazzarini, F., Pareschi, M.T. y Boschi, E. (2004): Digital elevation model construction from structured topographic data: The DEST algorithm. *Journal of Geophysical Research*, 109 (F04004): 1-17.
- Fisher, P.E. y Tate, N.J. (2006): Causes and consequences of error in digital elevation models. *Progress in Physical Geography*, 30 (4): 467-489.
- Harris, A., Dehn, J. y Calvari, S. (2007a): Lava effusion rate definition and measurement: a review. *Bulletin of Volcanology*, 70 (1): 1-22.
- Harris, A., Favalli, M., Mazzarini, F. y Pareschi, M.T. (2007b): Best-fit results from application of a thermo-rheological model for channelized lava flow to high spatial resolution morphological data. *Geophysical Research Letters*, 34 (1).
- Hooper, D.M. y Sheridan, M.F. (1998): Computer-simulation models of scoria cone degradation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 83 (3-4): 241-267.
- Mazzarini, F., Pareschi, M.T., Favalli, M., Isola, I., Tarquini, S. y Boschi, E. (2005): Morphology of basaltic lava channels during the Mt. Etna September 2004 eruption from airborne laser altimeter data. *Geophysical Research Letter*, 32 (L04305): 1-4.

- Microimages, (2007): *Reference manual for TNT products V6.50*. Microimages. URL: <http://www.microimages.com/refman/xhtml/index.htm>
- Murray, J.B., Stevens, N.F. (2000): New formulae for estimating lava flow volumes at Mt. Etna Volcano, Sicily. *Bulletin of Volcanology*, 61 (8): 515-526.
- Rowland, S.K., Harris, A., Wooster, M.J., Amelung, F., Garbeil, H., Wilson, L. y Mouginiis-Mark, P.J. (2003): Volumetric characteristics of lava flows from interferometric radar and multispectral satellite data: the 1995 Fernandina and 1998 Cerro Azul eruptions in the western Galapagos. *Bulletin of Volcanology*, 65 (5): 311-330.
- Simkin, T. y Siebert, L. (1994): *Volcanoes of the World*. Geoscience Press for the Smithsonian Institution, Tucson, 349 pp.
- Smith, W.H.F. y Wessel, P. (1990): Gridding with Continuous Curvature Splines in Tension. *Geophysics*, 55 (3): 293-305.
- Stretch, R.C., Mitchell, N.C. y Portaro, R.A. (2006): A morphometric analysis of the submarine volcanic ridge south-east of Pico Island, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 156 (1-2): 35-54.
- Szekely, B. y Karatson, D. (2004): DEM-based morphometry as a tool for reconstructing primary volcanic landforms: examples from the Borzony Mountains, Hungary. *Geomorphology*, 63 (1-2): 25-37.
- Thouret, J.C. (1999): Volcanic geomorphology - an overview. *Earth-Science Reviews*, 47 (1-2): 95-131.
- Wood, C.A. (1980a): Morphometric evolution of cinder cones. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 7: 387-413.
- Wood, C.A. (1980b): Morphometric analysis of cinder cone degradation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 8: 137-160.
- Yilmaz, H.M. (2007): The effect of interpolation methods in surface definition: an experimental study. *Earth Surface Processes and Landforms* 32 (9): 1346-1361.

Rovira Soto, María Trinitat (2008): Formas urbanas y espacios turísticos. Modelos de desarrollo en el litoral mediterráneo. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 167-182. ISBN: 978-84-96971-53-0.

FORMAS URBANAS Y ESPACIOS TURÍSTICOS. MODELOS DE DESARROLLO EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO (1)

Rovira Soto, Maria Trinitat^{1,2}

(1) Unidad Predepartamental de Geografía, Universidad Rovira i Virgili, Pl. Imperial Tarraco, 1, 43005, Tarragona. mtrinitat.rovira@urv.cat. *Este trabajo forma parte del Proyecto SEJ2005-05677 del Ministerio de Ciencia y Tecnología Evaluación de los efectos de los cambios en el modelo turístico español de los destinos turísticos litorales. Investigador principal: Salvador Antón Clavé (URV).*

(2) Becaria FI. Beca financiada por el Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya.

RESUMEN

Los procesos de suburbanización identificados a partir de los años 70, se han traducido en una dinámica de dispersión urbana a finales del siglo X. La globalización ha provocado la introducción del "sprawl" (proceso de urbanización difusa) a la ciudad mediterránea, y ha conllevado la implantación de modelos de desarrollo insostenibles.

La utilización de los SIG ha permitido el análisis de este fenómeno en los municipios de la comarca del Baix Camp, en la Costa Dorada de Tarragona. Se analizan municipios de diversa índole: de primera línea de costa y de segunda línea. A partir de información cartográfica, se ha estudiado la evolución de la ocupación del territorio desde 1956, pudiendo hacer previsiones de futuro a través de los planes urbanísticos municipales.

El resultado del estudio permite hacer una valoración crítica de la asimilación en el ámbito mediterráneo del modelo anglosajón de ocupación del suelo, la saturación de la demanda real de viviendas, las nuevas fórmulas de ocupación del suelo, y la expansión de la urbanización en la segunda línea litoral.

Palabras Clave: SIG, sprawl, evolución urbanización.

ABSTRACT

The processes of suburbanization identified during the seventies of the last century, have lead to a dynamics of urban dispersion. The globalization has introduced the urban sprawl to the Mediterranean city, and has the responsible of the development of unsustainable urban models.

The use of the GIS has allowed the analysis of this phenomenon in the municipalities of the region of the Baix Camp, in the Costa Dorada of Tarragona. Municipalities with different nature are analyzed. Including those in the front coastline and others in more inland areas. The evolution of the occupation of land since 1956 has been studied, using cartographic information, and being able to do forecasts of future through the municipal planning.

The result of the study allow do a critical valuation of the assimilation of the Anglo-Saxon model of land occupation, the saturation of the real demand for houses, the new formulas of land occupation, and the expansion of residential development in areas near the coast.

Key words: SIG, sprawl, residential development evolution.

ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN

La presión urbanística que sufre el litoral del mediterráneo español, tiene su reflejo más notable en el gran impulso, que desde hace un tiempo, ha protagonizado el sector de la construcción y el mercado inmobiliario. El modelo turístico implantado entre los años 60 y 70 llevó a equiparar la actividad constructiva a la turística, "ante la idea del turismo como prestación de servicios especializados" (Vera, 1994). Así, se dibujó una franja costera

donde se han dado episodios de construcción depredadora y una elevada presión urbanística, justificadas por el modelo de desarrollo turístico de sol y playa. La saturación y el aumento de precio del suelo urbanizable, y en consecuencia, del precio de la vivienda en los municipios de primera línea de costa, ha llevado a un creciente dinamismo del mercado inmobiliario en los municipios de la segunda línea del litoral, que ofrecen viviendas a un precio inferior y relativamente cerca de la costa. El buen estado de las comunicaciones y los accesos, de norte a sur en este caso, y su constante mejora, favorecen el crecimiento de estos núcleos de segunda línea, y viceversa. Tal y como apunta Gausa (1996), “la falta de criterios -y de modelos territoriales- favorece la urbanización masiva de la costa provocada por una avalancha constructiva generalizada”. Así, a la falta de planificación general de la época se le suma la falta de planificación específica de las unidades turísticas, entendidas como unidades diferenciadas que necesitan instrumentos y una gestión diferenciada del espacio.

La sostenibilidad y el cambio de modelo turístico de este tramo del litoral se presentan como la solución a los problemas urbanísticos y de gestión municipal, aunque la consolidación del modelo de crecimiento urbano difuso en la ciudad tradicional mediterránea, gracias a la globalización (Pérez, 2006), dificulta la transformación de estos espacios y el control del crecimiento urbanístico.

ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende los municipios de la primera y segunda línea del litoral de la comarca del Baix Camp, en la provincia de Tarragona. En concreto, comprende los municipios de: Cambrils, Vinyols i els Arcs, Montbrió del Camp, Mont-roig del Camp, Pratdip, y Vandellòs i l’Hospitalet de l’Infant.

Se trata de municipios que se encuentran dentro del dominio turístico de la Costa Dorada.

Tabla 1. Contexto de los municipios del área de estudio

Municipio	Superficie (m ²)	Habitantes (2007)	Plazas turísticas (2006)	Viviendas familiares secundarias (2001)	Equipamientos turísticos singulares
Cambrils	35.256.689,979	29.112	13.968	14.987	Puerto Deportivo
Vinyols i els Arcs	10.777.656,566	1.594	1.837	625	
Montbrió del Camp	10.704.398,660	1.917	476	89	Hotel Balneario Termes de Montbrió (4 estrellas)
Mont-roig del Camp	63.309.052,943	10.292	12.466	4.736	Campo de Golf Bonmont
Pratdip	36.265.478,710	760	7	394	Campo de Golf Bonmont
Vandellòs i Hospitalet de l’Infant	102.669.162,322	5.420	2.562	1.204	Estación náutica

Fuente: Datos extraídos del Institut d’Estadística de Catalunya (IDESCAT) y del Instituto Nacional de Estadística (INE).

OBJETIVOS

El estudio se articula a partir de dos objetivos principales. El primer objetivo responde a la necesidad de estudiar el proceso de urbanización de los municipios de un tramo del litoral de la costa catalana. La evolución de la urbanización del litoral español, y catalán, responde a las exigencias de la demanda turística que desde mediados de los años 60, y como característica del turismo de masas de sol y playa, ha basado su crecimiento urbano en la adquisición de segundas residencias cerca de la playa. Este hecho ha dibujado un litoral densamente urbanizado y con algún déficit relacionado con la rapidez y poca planificación de la actividad turística, sobre-

todo de la construcción de alojamiento turístico privado. La urbanización turística ha crecido a partir de unas formas y tipologías propias, que genera unos espacios totalmente diferentes a los de la ciudad tradicional.

El segundo objetivo tiene como finalidad la creación de una metodología básica para el análisis de dicha evolución, utilizando los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Como herramienta informática P. Burrough define a los SIG como “un poderoso conjunto de herramientas (informáticas) para la recogida, el almacenaje, la recuperación, la transformación y representación de datos espaciales que pertenecen al mundo real”. El diseño de esta metodología será una forma práctica de análisis extrapolable a otros municipios y otras zonas. Además de suponer una herramienta de trabajo analítico, es también una herramienta de trabajo comparativo. Este segundo objetivo se perfila como complementario del primero.

De estos dos objetivos principales se desprenden dos resultados. Un primer resultado específico busca la construcción de escenarios cronológicos (1956-1995- 2006- futuro) de la situación urbana de cada uno de los municipios seleccionados que permitirá la visualización de la evolución del modelo de crecimiento de las ciudades turísticas: cómo y que formas han resultado de este proceso de urbanización relacionado con el turismo. Un segundo resultado consiste en la creación de tipologías de municipios a partir del análisis de la expansión urbana. El porcentaje de crecimiento y el consumo de suelo previsto en los últimos años, además de la tipología de viviendas a partir de las cuales se realizará este crecimiento, permitirá agruparlos en diferentes clases. Dejando a un lado el tamaño de los municipios y la presión urbanística, se podrá observar cuales son los municipios que dedican un mayor contingente de tierras para la urbanización, sobretodo como resultado de la actividad turística, ver que tienen en común y si comparten ciertas características en su evolución y situación actual.

HIPÓTESIS

El crecimiento experimentado por los municipios de la Costa Dorada, en concreto los pertenecientes a la comarca del Baix Camp, como: Cambrils, Montbrió del Camp, Mont-roig del Camp, Vinyols i els Arcs, Vandellòs i l’Hospitalet de l’Infant, y Pratdip, en el período del 1956 al 1995 y programado en los POUM se han realizado, y en gran medida, a partir de la demanda turística, de masas, característica del modelo de crecimiento fordista.

La demanda turística de los primeros años del *boom* turístico precisaba de espacios diferenciados de la ciudad tradicional, tanto en función como en forma. El crecimiento de los municipios turísticos se sirvió de una tipología de vivienda diferente de la que se había servido la ciudad mediterránea: de la vivienda plurifamiliar o tipología de vivienda tradicional mediterránea, a las viviendas adosadas y aislada, más propias de la ciudad jardín y que responden a un ideal perceptivo del individuo. Este hecho ha provocado que los ayuntamientos hayan puesto a disposición de la demanda grandes cantidades de suelo urbanizable, sobretodo en primera línea de mar. Un tipo de vivienda que por sus características aportaba grandes sumas de beneficio a las arcas municipales, sobretodo por su extensión y gran consumo de recursos naturales. La insostenibilidad de la implantación de la actividad turística y el desgaste de un modelo turístico basado en el consumo de productos estandarizados, debería haber llevado a un replanteamiento del mismo, y por consiguiente, planificar el territorio turístico desde la óptica de la sostenibilidad. Pero más allá de este hecho tan claro, la realidad muestra una nueva presión urbano-inmobiliaria: el nuevo modelo de producción turística aun no se ha plasmado en un cambio de consumo de recursos territoriales. Y es más, su ocupación se expande hacia el interior, articulando el territorio a un nivel regional, y configurando un verdadero sistema turístico que busca su ampliación como producto total.

El fenómeno turístico, y su implantación territorial, buscan nuevos espacios para desarrollarse. La saturación del litoral como consecuencia los procesos urbanizadores pasados y un aumento del precio del suelo en el litoral, como principales factores, han generado un conjunto de dinámicas de ocupación del suelo que se observan ya en los municipios situados en una segunda línea del litoral. Estos municipios hasta ahora permanecían expectantes a la evolución de la urbanización del litoral y quedaban al margen la evolución de la actividad turística. Actualmente son el escenario de grandes actuaciones urbanísticas a causa de la localización de grandes equipamientos turísticos, de campos de golf a parques temáticos.

METODOLOGÍA

La metodología que se plantea a continuación pretende la creación y análisis de cartografía de usos del suelo y urbanización en los periodos que se comprenden entre el 1956 y 1995, entre el 1995 y el 2006, y entre 2006 y las previsiones de futuro.

La elección de los periodos de estudio se establece de acuerdo a la evolución del sector turístico estudiada por diversos autores, y por la disponibilidad de cartografía en cada uno de los periodos. El periodo que se establece entre 1956 y 1995, busca plasmar el momento de máxima expansión territorial del turismo. La gran cantidad de suelo que se consideró para ser urbanizado como consecuencia del “boom del fenómeno turístico en la península provocado por una creciente afluencia de visitantes a la costa y una demanda masiva de alojamientos de claras implicaciones económicas y por tanto urbanísticas” (Gausa, 1996). Así que se consideró la cartografía disponible alrededor de este periodo y se estableció entre 1956 y 1995 como periodo de crecimiento de la actividad turística en el marco de los municipios seleccionados.

El análisis realizado para el periodo establecido entre 1995 y el 2006 busca reflejar el cambio de modelo que se produce durante los años 90, donde “las estructuras empresariales y territoriales creadas rápidamente en las décadas previas para dar respuesta a una demanda estandarizada y creciente no son las que tienen una mayor capacidad competitiva en un contexto en que las expectativas y las necesidades de la demanda se han transformado radicalmente” (Antón, 2005). Este hecho provoca “importantes transformaciones en el microentorno turístico” (Antón, 2005) que podrían verse reflejadas en el proceso de ocupación del suelo que se produce durante la década.

Para el período futuro, el objetivo ha sido comprobar como se materializan las tendencias y las voluntades de los agentes planificadores del turismo y del territorio de acuerdo a un modelo no siempre tan planificado bajo criterios universales de sostenibilidad.

Metodología de generación de la cartografía

La generación de cartografía es una de las partes más importantes del estudio, es una de las bases de éste. La evolución del suelo urbano en los distintos municipios se explica a través de los datos proporcionados por la cartografía obtenida. Las distintas etapas escogidas responden a tres momentos diferentes en que la cartografía es óptima.

Tratamiento de la fotografía aérea de 1956. Existen fotografías aéreas verticales del primer vuelo que se efectuó en España, y más concretamente entre 1956 y 1957, realizadas por el Servicio Geográfico del Ejército. Las fotografías en blanco y negro muestran el paisaje y los municipios escogidos para realizar este trabajo. La fotointerpretación será la técnica utilizada para delimitar y diferenciar los núcleos turísticos.

Digitalización de los núcleos urbanos de 1956. A continuación se digitalizaran los límites de estas ciudades turísticas del año 1956, y en este caso con el programa Autodesk Map, y tomando como base las hojas o rásters del mapa topográfico 1:5000 del ICC y la fotografía aérea. Así, los polígonos de urbanizaciones de los núcleos urbanos quedarán georeferenciados.

Comprobación, verificación de los resultados de la digitalización. La comprobación de la digitalización se realizará una vez se haya dispuesto de la cartografía de cada municipio, incluido el POUM.

Delimitación, digitalización, de los núcleos urbanos de 1995 a partir de la base de datos vectorial del ICC (1:5000). Para el segundo período de estudio se dispone de la cartografía óptima del 1995. En este caso, la fuente que ha proporcionado la información necesaria ha sido el Institut Cartogràfic de Catalunya. De la base de datos 1:5000, se ha tomado la capa que contenía los polígonos de suelo urbano de los distintos municipios, creando los polígonos de suelo urbanizado hasta el 1995. Hasta este momento se habrá construido un archivo con extensión *dxf* con los límites del suelo urbano del 1956 y del 1995.

Actualización de la cartografía 1:5000 del ICC para obtener la situación en 2006. Con la información cartográfica que proporcionan los POUM o las Normas Subsidiarias, y tomando como base las hojas ráster del 1:5000 del ICC, se digitalizan los polígonos de urbanización ya consolidados en el 2006, además de disponer de información directa sobre el territorio gracias a la entrevista con expertos.

Digitalización de las áreas de crecimiento a partir de los POUM. Con la información de los POUM i sobre la base de los ráster del 1:5000, también, se consigue delimitar el nuevo suelo puesto a disposición de la urbanización. Limitando los nuevos polígonos que después de una recalificación pasaran a ser suelos urbanos obtendremos la planificación futura de suelos.

Después de obtener la información el archivo *dxg*, se ha convertido éste al SIG ArcGis, y más concretamente con el módulo ArcInfo. Este SIG, permitirá crear una topología sobre los polígonos generados previamente.

Superposición para la identificación de las sucesivas áreas de crecimiento. Al archivo de dibujo se le suma una tabla de atributos, con los datos generados automáticamente como el área y el perímetro, además de otros campos que serán introducidos para identificar los polígonos (año urbanización, código INE...). Con el módulo ArcMap se confecciona el mapa final, que refleja el resultado del estudio, y a partir del cual se extraerán las conclusiones necesarias para el análisis, ya que las informaciones generadas proporcionarían datos numéricos imprescindibles.

Fuentes

a) Documentales: POUM

Los Planes de Ordenación Urbanística Municipal o POUM son los documentos elaborados por los ayuntamientos para ordenar y/o organizar su territorio.

En estos documentos, aunque pueden estar sometidos a algunas variaciones, suelen incluir: una justificación de la realización del nuevo POUM, una diagnosis sobre la situación actual del municipio (teniendo en cuenta la dimensión social y territorial) la normativa vigente que enmarcará el nuevo POUM, el tipo de suelo y su clasificación, la nueva disposición de suelo para urbanizar y las actuaciones para cada polígono de suelo delimitado. Todos estos documentos están acompañados por otros documentos cartográficos que plasman la situación futura del municipio y los polígonos de nueva actuación. Recientemente resulta normal encontrarlos acompañados de otros instrumentos de análisis paralelos como la Agenda 21, o otros de tipo participativo. En los municipios del área de estudio, no todos disponen de POUM, algunos se rigen a partir de Normas Subsidiarias. En el área de estudio, la mayoría de los municipios están ultimando los detalles de sus nuevos POUM, que substituyen dichas normas.

b) Cartográficas: fotografía aérea 1956, mapa topográfico 1:5000, cartografía POUM.

La información cartográfica es la más importante para la realización del presente estudio, ya que los resultados y conclusiones a las que se puedan llegar, básicamente se conseguirán a partir de estos datos.

Por un lado, en la primera etapa, la que muestra la situación en el 1956, la cartografía en formato digital se ha generado a partir de fotos aéreas. Éstas plasman el territorio español a una escala 1:330000, aproximadamente. La dificultad para visualizar los municipios ha hecho que la técnica de la fotointerpretación haya sido aplicada con cierta dificultad, y que haya sido conveniente utilizar instrumentos de aumento de las imágenes. Las fotografías aéreas se constituyen como un documento base para la identificación y para la realización de cartografía básica de fenómenos geográficos.

En este caso, el vuelo del 1956-57, las fotografías aparecen en blanco y negro, en concreto en distintas tonalidades de gris, a causa de la distinta reflexión/absorción de la luz solar o energía, que tienen los distintos objetos. En el caso de la vegetación la fotografía muestra tonalidades más oscuras, mientras que en los lugares sin vegetación o construidos aparecen tonalidades más claras.

Otro tipo de fuente cartográfica utilizara es el mapa topográfico a escala 1:5000 del Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC). En este caso, la base cartográfica se encuentra en formato digital, y más concretamente la base de datos vectorial del topográfico. De las múltiples capas que contiene esta base de datos, la más interesante es la capa referente al poblamiento, que delimita las superficies urbanizadas de los distintos municipios de Cataluña, pero que en este caso sólo se han tomado los del área de estudio. Hay que tener en cuenta que aunque la base topográfica se realizó en 1995, no fue publicada hasta el 1999. En formato digital también se ha utilizado el mapa topográfico 1:5000 en formato ráster, como base para la visualización y la digitalización.

También se ha utilizado la cartografía de base que proporciona el Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya. Estos se presentan en formato Miramon, facilitando así una cartografía base de fácil exportación, y que se adapta al programa utilizado.

Una última fuente cartográfica consultada ha sido la cartografía facilitada por los propios municipios del área de estudio referente a los POUM. En la mayoría de casos el formato era analógico, aunque en algún caso el material se encontraba en formato digital

Equipos

El programa utilizado ha sido el ArcGis 8.1. También el Autodesk Map y el programa Miramon, para operaciones de transformación de formato de datos. Estos programas se engloban en la gamma del software de **Sistemas de Información Geográfica** o **SIG** que se definen como una herramienta informática que permite introducir, analizar y gestionar bases de datos espaciales y temáticos.

De los módulos disponibles para ArcGis, se ha utilizado el ArcInfo, ya que era necesaria la creación de topología para los polígonos. Esta función permite dotar de inteligencia a los elementos espaciales y sin ella sería imposible el análisis y la representación de los datos en los distintos mapas de trabajo.

ArcInfo, incorpora funciones avanzadas de geoprocésamiento, conversión de datos a otros formatos y sistemas de proyección. Es el producto con una funcionalidad completa para cualquier tarea dentro de un GIS profesional. Aunque ArcInfo podría funcionar por si solo, es cuando se complementa con los otros productos de ArcGis que adquiere su máxima funcionalidad.

RESULTADOS: EL PROCESO DE URBANIZACIÓN DE LOS MUNICIPIOS

Evolución 1956-2006

Una vez realizados los cálculos de ocupación del suelo a partir de la cartografía previamente trabajada, se ha procedido al examen de la información para extraer los resultados y cumplir con los objetivos del estudio.

Para cada etapa se ha confeccionado una tabla, para cada municipio, que informa de la evolución de la ocupación urbana. Cada cuadro contiene los nuevos polígonos construidos desde el periodo anterior al que se contempla en cada etapa. Esta tabla cuenta con unos campos básicos y comunes. Un identificador de los polígonos que se van urbanizando, el nombre del municipio, el área de cada nuevo polígono urbanizado (en metros cuadrados), el uso al que se destina ese polígono y el año de urbanización. Al final de la tabla también se incluye un campo con la toponimia del mismo. También se adjunta una tabla resumen de la superficie total del municipio, la que sigue libre, y la que se va ocupando en cada etapa de análisis.

A continuación se adjunta un ejemplo de dos de las tablas generadas con la información estadística para el municipio de Cambrils. Una primera tabla da información sobre la situación urbanística en el 1995. Mientras la segunda tabla muestra la previsión de suelo urbanizable tal y como refleja el POUM de Cambrils.

Tabla 2. Tabla resumen de la situación del municipio de Cambrils en el 1995, y por tanto, evolución del proceso de urbanización desde el 1956 al 1995. Fuente: elaboración propia.

Cambrils							
ID	Municipio	Código INE	Área (m ²)	Perímetro	Uso	Año Urbanización	
1956							
1	Cambrils	43038	35.256.689,979	42.554,690		Total superficie	
171	Cambrils	43038	62.364,078	1.433,614	Residencial	.1956.	Casco Antiguo
192	Cambrils	43038	65.004,346	1.274,801	Residencial	.1956.	Cambrils puerto
Superficie libre			35.129.321,555	127.368,424			
1995							
157	Cambrils	43038	212.593,399	2.344,551	Residencial	.1995.	Urbanizacion Jardins de Vilafortuny
161	Cambrils	43038	259.786,657	2.948,474	Residencial	.1995.	
163	Cambrils	43038	556.188,332	3.742,006	Residencial	.1995.	Urbanizaciones els Ametllers y els Tallats
167	Cambrils	43038	368.146,277	4.129,220	Residencial	.1995.	Eixample y Parellada
168	Cambrils	43038	538.932,856	3.881,271	Residencial	.1995.	Urbanizaciones Proacosa y Urcavisa
172	Cambrils	43038	1.183.650,491	9.352,088	Residencial	.1995	Puerto y urb Cambrils Badia (Vinyols i els Arcs)
172	Cambrils	43038	1.183.650,491	9.352,088	Residencial	.1995	Puerto y urb Cambrils Badia (Vinyols i els Arcs)
181	Cambrils	43038	373.208,949	4.020,370	Residencial	.1995	Urbanizacion Reus Mediterrània i els Pins
184	Cambrils	43038	59.035,657	1.021,253	Residencial	.1995.	Urbanizaciones
196	Cambrils	43038	74.676,965	1.285,317	Residencial	.1995.	Urbanizacion les Platges del Sud
197	Cambrils	43038	253.646,538	2.387,764	Residencial	.1995.	Urbanizacion el Mar Cambrils y la Dorada Playa
198	Cambrils	43038	45.650,510	974,935	Residencial	.1995.	Urbanizacion la Ardiaca
200	Cambrils	43038	635.262,028	3.843,459	Residencial	.1995.	Urbanizacion Cambrils Mediterrani
172	Cambrils	43038	1.183.650,491	9.352,088	Residencial	.1995.	Puerto y urb Cambrils Badia (Vinyols i els Arcs)
190	Cambrils	43038	508.680,308	4.159,214	Residencial	.1995.	U. Estrella de Cambrils, Albereda, Cambrils Playa
Superficie ocupada			7.436.759,949				
Superficie libre			27.692.561,606				
1956							
Superficie total:			35.256.689,979				
Superficie ocupada:			127.368,424				
Superficie libre:			35.129.321,555				
1995							
Superficie total:			35.256.689,979				
Superficie ocupada '56:			127.368,424				
Superficie ocupada '95:			7.436.759,949				
Superficie ocupada total:			7.564.128,373				
Superficie libre:			27.692.561,606				
% urbano sobre total municipio			21,454				

Tabla 3. Tabla resumen de la situación prevista para el municipio de Cambrils tal como queda contemplada en el POUM. Fuente: elaboración propia.

Cambrils							
ID	Municipio	Código INE	Área (m ²)	Perímetro	Uso	Año Urbanización	
1956							
1	Cambrils	43038	35.256.689,979	42.554,690		Total superficie	
171	Cambrils	430385	62.364,078	1.433,614	Residencial	.1956.	Casco Antiguo
192	Cambrils	430385	65.004,346	1.274,801	Residencial	.1956.	Cambrils puerto
Superficie libre			35.129.321,555				
1995							
Superficie ocupada			7.436.759,949				
Superficie libre			27.692.561,606				
2006							
Superficie ocupada			850.900,108				
Superficie libre			26.841.661,498,000				
Futuro							
155	Cambrils	430385	35.500,192	822,362	Residencial	Futura	
156	Cambrils	430385	43.405,618	891,995	Residencial	Futura	
159	Cambrils	430385	233.349,979	3.642,571	Residencial	Futura	
160	Cambrils	430385	1.673.384,227	7.219,347	Resid. y Indust.	Futura	
162	Cambrils	430385	43.534,228	1.144,316	Residencial	Futura	
170	Cambrils	430385	44.256,371	1.229,305	Residencial	Futura	
179	Cambrils	430385	85.133,812	1.401,945	Residencial	Futura	
186	Cambrils	430385	107.318,760	1.305,002	Residencial	Futura	
Superficie ocupada			2.265.883,187				
Superficie libre			26.839.395,615,000				
1956							
Superficie total:			35.256.689,979				
Superficie ocupada:			127.368,424				
Superficie libre:			35.129.321,555				
% urbano sobre total municipio:			0,3613				
1995							
Superficie total:			35.256.689,979				
Superficie ocupada '56:			127.368,424				
Superficie ocupada '95:			7.436.759,949				
Superficie ocupada total:			7.564.128,373				
Superficie libre:			27.692.561,606				
% urbano sobre total municipio:			21,454				
% crecimiento urbano '56-95:			5838,778				
2006							
Superficie total:			35.256.689,979				
Superficie ocupada '56:			127.368,424				
Superficie ocupada '95:			7.436.759,949				
Superficie ocupada '06:			850.900,108				
Superficie ocupada total:			8.415.028,481				
Superficie libre:			26.841.661,498				
% urbano sobre total municipio:			23,868				
% crecimiento urbano '95-06:			11,249				
Futuro							
Superficie total:			35.256.689,979				
Superficie ocupada '56:			127.368,424				
Superficie ocupada '95:			7.436.759,949				
Superficie ocupada '06:			850.900,108				
Superficie ocupada Futuro:			2.265.883,187				
Superficie ocupada total:			10.680.911,668				
Superficie libre:			24.575.778,311				
% urbano sobre total municipio:			30,295				
% crecimiento urbano '06-futuro:			26,927				

RESULTADOS

Situación de los núcleos urbanos de los municipios del área de estudio en 1956

La realidad de la situación de los municipios seleccionados se plasma la imagen que se presenta. En este período, antes de la irrupción del turismo en las economías municipales, la principal actividad económica era la agricultura. Una gran parte de la población vivía en el campo, o *masos*: construcciones aisladas del núcleo principal, situadas al lado de las tierras que se cultivaban. El movimiento de cooperativismo agrícola ha configurado el desarrollo de la trama urbana actual. Desde principios del siglo XX, el cooperativismo agrícola, nacido de la ley del 1906, hizo que productos agrícolas tradicionales se empezasen a comercializar con cierto éxito. Además, la creación de la sección de créditos de la Caja rural en el 1963, dio cierto poderío a la actividad agrícola en los núcleos urbanos. La población abandona los campos y se traslada a los núcleos urbanos para estar más cerca de la cooperativa: centro comercial y de dinamismo económico. Este dinamismo económico ya configuraba en el 1956 verdaderos núcleos urbanos, con una sociedad con connotaciones urbanas, aunque gran parte de la población del municipio aun vivía en los *masos* dispersos. Por lo tanto, ya podemos desvelar que los cambios en la trama urbana de un municipio están muy relacionados con la predominancia de una actividad económica, o viene motivado por los cambios en las economías municipales.



Figura 1. Ocupación del suelo en 1956. Fuente: elaboración propia a partir del trabajo de campo y cartografía del ICC.

Otro hecho a destacar es la dualidad de los núcleos urbanos en un mismo municipio, y que, también, tiene su origen el predominio de dos actividades económicas que se localizan de forma distinta en el mismo municipio. Por ejemplo, en el caso de Cambrils o Vandellòs i Hospitalet de l'Infant, donde aparece un núcleo de población cerca de la costa, como resultado de la implantación de la actividad pesquera. Una primera conclusión a la que se puede llegar, es que la superficie urbana de los municipios estudiados, no llega ni a un 1% respecto al total de la superficie del municipio.

Evolución de los núcleos urbanos de los municipios del área de estudio del 1956 al 1995

La situación en 1995 es bastante distinta al periodo anterior. El turismo pasa a ser la actividad económica principal en los municipios costeros, sobretudo a partir de finales de los 60 y principios de los 70, dinamizando no sólo el panorama económico, sino también el social y demográfico. El turismo, y el ocio, atraerá población foránea no solo para trabajar, sino también, para quedarse a vivir en el.

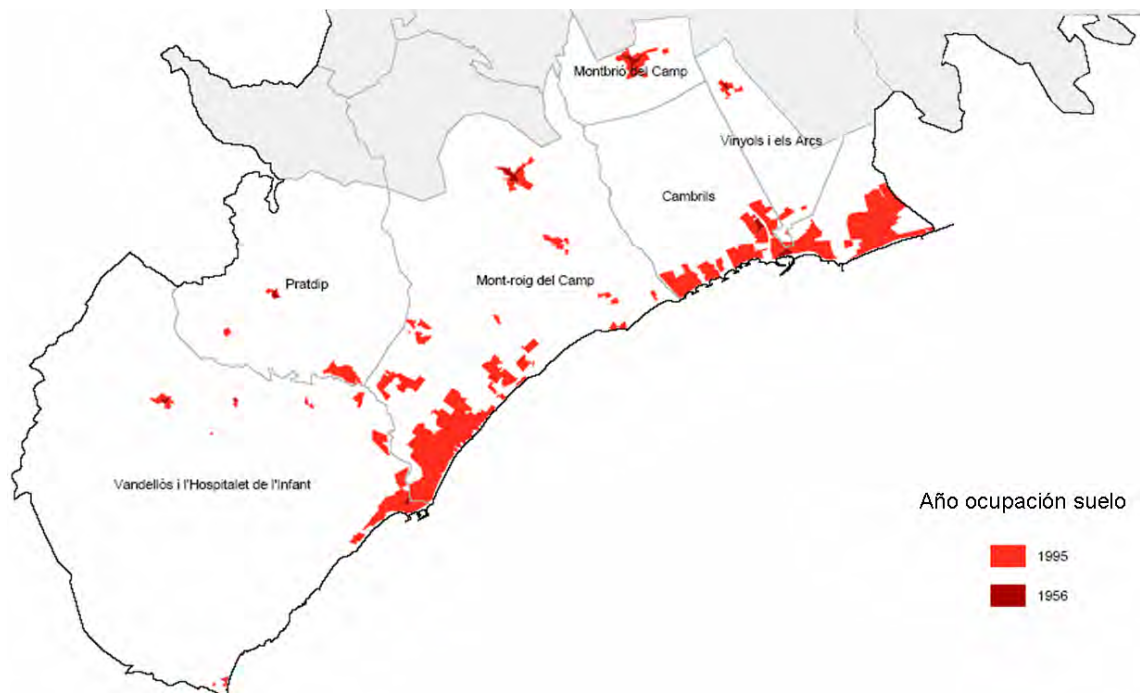


Figura 2. Fases de ocupación del suelo en 1956 y 1995. Fuente: elaboración propia a partir del trabajo de campo y cartografía del ICC.

Desde la perspectiva urbanística es el momento de mayor riesgo. La ordenación del territorio, y sobretodo en la franja litoral, parecen conceptos invisibles. El territorio es considerado como un recurso inagotable, y la construcción empieza a relacionarse estrechamente con el sector turístico, sobretodo desde la aparición de las segundas residencias. El concepto de sostenibilidad es nulo delante de un vasto territorio por ocupar. De hecho, y tal como muestra el análisis, los municipios que han experimentado un mayor crecimiento de su superficie urbana son los situados en primera línea de costa.

A) Municipios que han multiplicado hasta más de treinta veces su superficie urbana

La ciudad deja de estar contenida en el núcleo primitivo, y se dispersa por el resto del territorio que la rodea. En el caso de las ciudades litorales, el crecimiento urbanístico se centra a lo largo de la línea de costa, donde la construcción da un mayor beneficio económico. Estos procesos de dispersión de la ciudad reflejarán los primeros fenómenos de especialización funcional: el turismo. Urbanizaciones dedicadas al alojamiento del turismo que serán ocupadas durante una época del año por turistas.

La oferta de sol y playa hace que se precise de mano de obra. Así, la incorporación de suelo urbano se justifica a partir de la construcción de segundas residencias para el turismo y la construcción de casa para esta población inmigrante que se instala en el municipio para trabajar. Se produce una expansión de los núcleos primitivos del municipio. Cambrils aumenta hasta a un 296'8% su población en este periodo. A destacar que del 1991 al 1995, el crecimiento de la población es más moderado, como pasa con el resto de municipios del área de estudio.

En el caso de Vandellòs i Hospitalet de l'Infant, aunque su alejamiento del núcleo central de la Costa Dorada es evidente, su crecimiento ha sido motivado por su proximidad al municipio de Mont-roig, y más concretamente por el núcleo situado en la franja costera, Miami Platja, desarrollado a base de segundas residencias y viviendas de población inmigrante.

Otro municipio es Mont-roig del Camp. Del 1956 al 1995 la población de Mont-roig del Camp crece un 160'25%. El núcleo primitivo apenas crece, y toda la nueva construcción se localiza en el núcleo de nueva construcción litoral. También existen algunas urbanizaciones dispersas en el territorio. La tipología de vivienda de estos nuevos crecimientos urbanos corresponde a edificación aislada y en algún caso de adosadas.

Tabla 4. Resumen de la evolución de la ocupación urbana de los municipios que han multiplicado más de treinta veces su superficie urbana. Periodo 1956-1995.

Municipio	Crecimiento superficie urbana 56-95 (%)	Superficie urbana 1956 (m ²)	Superficie urbana 1995 (m ²)	% urbano sobre total municipio
Cambrils	5.838'778	127.368'424	7.436.759'949	21'5
Vandellòs i Hospitalet de l'Infant	3.555'502	70.207'309	2.496.222	2'5
Mont-roig del Camp	4.891'918	127.997,485	6.261.532	10,1

B) Municipios que han multiplicado hasta diez veces su superficie urbana

Pratdip es un ejemplo de cómo puede aumentar la superficie urbana mientras disminuye la población del mismo. Aunque el municipio es muy grande, el núcleo urbano tradicional es muy pequeño y concentra la mayoría de la población. Mientras, del 1956 hasta al 1995, la población decrece un 32'73%. La construcción de las urbanizaciones Les Planes del Rei y la urbanización Santa Marina, pueden haber provocado una mínima recuperación de la población.

En el caso de Vinyols i els Arcs, situado en segunda línea litoral, su proximidad a Cambrils ha hecho que la incorporación de suelo a la categoría de urbano este más propiciado por una presión externa que no por una necesidad interna. El nuevo suelo urbano no se encuentra pegado al núcleo tradicional, sino en el límite municipal de Cambrils.

Tabla 5. Resumen de la evolución de la ocupación urbana de los municipios que han multiplicado hasta diez veces su superficie. Periodo 1956-1995.

Municipio	Crecimiento superficie urbana 56-95 (%)	Superficie urbana 1956 (m ²)	Superficie urbana 1995 (m ²)	% urbano sobre total municipio
Pratdip	1.201'844	39.708'329	477.232	1'4
Vinyols i els Arcs	1.002'335	25.439'210	254.986'178	2'6

C) Municipios que han multiplicado hasta seis veces su superficie urbana

Es el caso de Montbrió del Camp. El crecimiento del pueblo se ha realizado a partir del núcleo tradicional, y la incorporación de suelo responde a la creación de un complejo hotelero, Termes de Montbrió que se inauguró en 1996, y por la ampliación del polígono industrial.

Tabla 6. Resumen de la evolución de la ocupación urbana de los municipios que han multiplicado hasta seis veces su superficie. Periodo 1956-1995.

Municipio	Crecimiento superficie urbana 56-95 (%)	Superficie urbana 1956 (m ²)	Superficie urbana 1995 (m ²)	% urbano sobre total municipio
Montbrió del Camp	44'684	103.535'283	46.263'222	1'4

Evolución de los núcleos urbanos de los municipios del área de estudio entre 1995 y 2006

Ya en el 2006 encontramos algunos municipios que funcionan a partir del POUM o que se encuentran en proceso de redacción. Se destaca el hecho del optimismo sobre el crecimiento y la prosperidad del periodo anterior: se puso un gran contingente de suelo libre a categoría de urbano pero no ha sido construido o desarrollado su totalidad. Se da una situación de saturación en el crecimiento, motivada por: un encarecimiento del suelo urbano y como consecuencia de las viviendas que tendrá una repercusión en la construcción de segundas residencias, y una ocupación de los suelos más atractivos para la demanda.

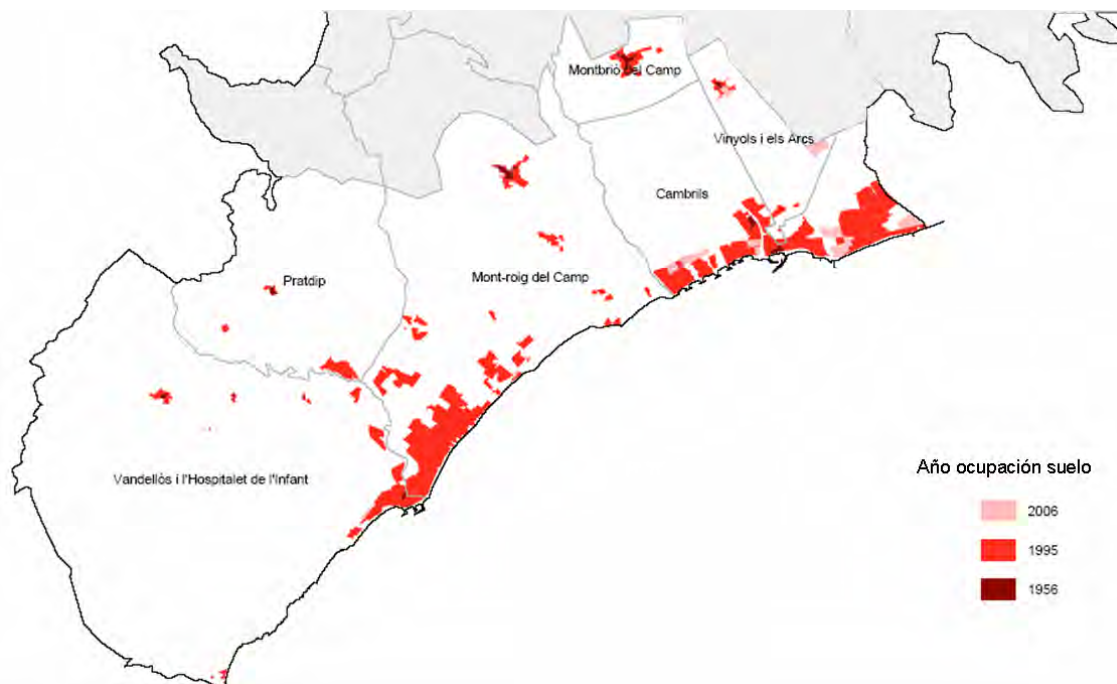


Figura 3. Fases de ocupación del suelo en 1995 y 2006. Fuente: elaboración propia a partir del trabajo de campo y cartografía del ICC.

A) Municipios que han crecido más de un 20% entre 1995 y 2006

Es el caso de Vinyols i els Arcs. En el 2006 se da una incorporación de suelo que realmente responde al crecimiento demográfico. Su proximidad con Reus, capital de comarca, y Cambrils, ciudad turística por excelencia, una mejora de las comunicaciones por carretera, sobretodo de secundarias; el precio del suelo más económico, básicamente alrededor del núcleo urbano tradicional; y la búsqueda de un ideal de vida en un pueblo y rodeado de naturaleza; no demasiado alejado de los puestos de trabajo...propician que los municipios de segunda línea de litoral protagonicen grandes crecimientos urbanos, aunque eso signifique convertirse en pueblos dormitorio con una gran especialización funcional: la residencial a partir de tipologías de vivienda típicas del litoral (adosada y chalet).

Tabla 7. Resumen de la evolución de la ocupación urbana de los municipios que han experimentado un crecimiento de su superficie urbana en más de un 20%. Periodo 1995-2006.

Municipio	Crecimiento superficie urbana 95-06 (%)	Superficie urbana 1995 (m ²)	Superficie urbana 2006 (m ²)	% urbano sobre total municipio
Vinyols i els Arcs	120'534	254.986'178	338.008'120	5'7

B) Municipios que han experimentado un crecimiento entre un 20% y un 10% para el periodo 1995-2006

Aunque se ha observado cierta saturación en los municipios estudiados, hay algunos que continúan manteniendo un alto crecimiento de su superficie urbana. Por lo tanto se continua con un crecimiento alto como continuación de la tendencia iniciada en el periodo anterior, 1956-1995.

Cambrils sigue viviendo del turismo, que lleva asociado un desarrollo del sector de la construcción muy potente. Se empiezan a dar situaciones de residencialismo: viviendas dedicadas a la segunda residencia se están convirtiendo en viviendas ocupadas de forma permanente durante todo el año. Se da un cambio del modelo de ocupación territorial de la ciudad tradicional mediterránea a la ciudad difusa, que utiliza tipologías de edificaciones propias del turismo para ensanches de la ciudad tradicional.

Tabla 8. Resumen de la evolución de la ocupación urbana de los municipios que han experimentado un crecimiento de su superficie urbana entre un 20% y n 10%. Periodo 1995-2006.

Municipio	Crecimiento superficie urbana 95-06 (%)	Superficie urbana 1995 (m ²)	Superficie urbana 2006 (m ²)	% urbano sobre total municipio
Cambrils	11'249	7.436.759'949	850.900'108	23'8

C) Municipios que han experimentado un crecimiento por debajo el 10% para el período 1995-2006

Como consecuencia de la euforia económica y demográfica vivida entre los 60 y 70, donde parecía que nada tenía límite, y en especial el territorio, se convirtieron un gran volumen de suelo libre a urbanizable para hacer frente, sobretudo, a la demanda turística. Con el paso del tiempo y el aumento de los precios del suelo y las viviendas, las crisis económicas y un descenso del crecimiento demográfico, los objetivos de ocupación no se dieron, y por tanto, la incorporación de nuevo suelo resulto innecesaria.

En el caso de Mont-roig del Camp, las expectativas de urbanizar la totalidad del suelo urbano que se había dispuesto, sobretudo en la zona litoral no se dio. Sólo, y en la zona litoral, se ha dispuesto de nuevo suelo urbanizable, y como resultado de una actuación para conectar dos urbanizaciones. Es también el caso de Vandellòs i l'Hospitalet de l'Infant.

Tabla 9. Resumen de la evolución de la ocupación urbana de los municipios que han experimentado un crecimiento de su superficie urbana por debajo un 10%. Periodo 1995-2006.

Municipio	Crecimiento superficie urbana 95-06 (%)	Superficie urbana 1995 (m ²)	Superficie urbana 2006 (m ²)	% urbano sobre total municipio
Mont-roig del Camp	0'319	6.261.532	20.410'999	10'1
Vandellòs i Hospitalet de l'Infant	1'376	2.496.222	35.314'592	2'5

Previsiones de futuro

Después de analizar los datos que se de los POUM sobre la urbanización futura de los municipios del área de estudio, tanto aquella que ya ha sido aprobada como la futura, se puede afirmar que el crecimiento de la superficie urbana será bastante desigual.

Para esta evolución futura se han considerado suelos sin una urbanización ya consolidada, en el periodo de estudio, suelos pendientes de aprobación o/y aprobados pero sin obras de urbanización ya empezadas.

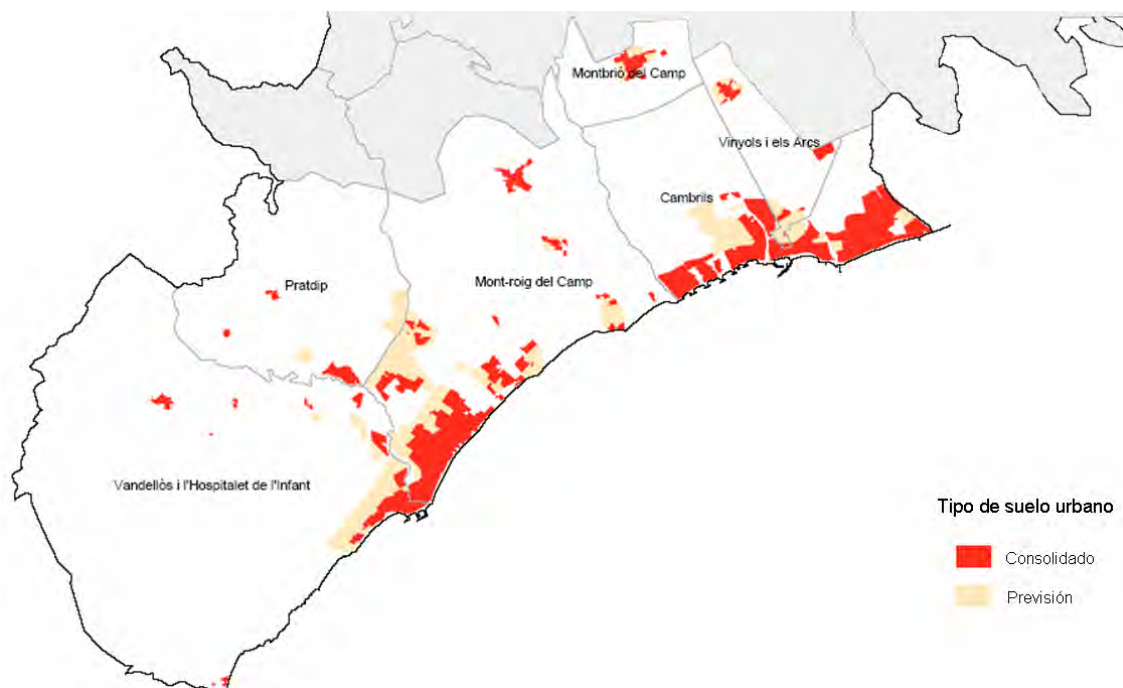


Figura 4. Fases de ocupación del suelo. Fuente: elaboración propia a partir del trabajo de campo y cartografía del ICC.

A) Municipios que experimentarán un crecimiento de más del 100%

Se tratan de municipios de interior, pero que aprovechan la influencia que reciben de la proximidad de la línea de litoral para crecer. Esta ampliación, en general, está bien aceptada por la población de estos municipios que ven este crecimiento como positivo para ampliar y disfrutar de mejores servicios. El coche en este contexto resulta imprescindible. En este grupo encontramos los municipios de Montbrío del Camp, Vinyols y Pratdip. No todos lo harán bajo directrices de sostenibilidad, tal y como marcan las directrices vigentes.

En Montbrío, esta incorporación de suelo se ve justificada desde el punto de vista demográfico. Se produce una retroalimentación positiva: más gente, se construye más y propicia que llegue gente nueva al municipio. En 2005 la población de Montbrío era de 1.683 habitantes, y el POUM, prevé que, después de que se haya urbanizado toda la superficie, que queda, urbana, se lleguen a los 5.000 habitantes. La mayoría de parcelas donde está previsto que se construya están dedicadas al uso residencial, a partir de la topología edificatoria de ciudad jardín, o adosadas. El crecimiento del municipio partirá del núcleo tradicional. Hay una voluntad de ampliar el suelo dedicado al complejo hotelero y al polígono industrial, aunque en menor medida.

Es también el caso de Vinyols. Se sigue incrementando nueva superficie en la parte sur del municipio, construyendo un continuo edificado entre Cambrils y Vinyols. Su proximidad a Cambrils y la disponibilidad de suelo más barato, se ha convertido en una alternativa para aquellas personas que trabajan en Cambrils, pero que por el alto precio de las viviendas se trasladan a Vinyols para comprar una adosada.

Otro municipio que multiplicará su superficie urbana es Pratdip. Pratdip se replantea su situación urbanística por la voluntad de construir una carretera de circunvalación que rodee el núcleo tradicional, de norte a sur. Como en otros casos, el crecimiento de suelo urbano experimentado entre 1956 y 1995 no se corresponde con un crecimiento demográfico. Pero ante el encarecimiento del suelo de la primera línea litoral, mucha gente ha optado por ir a vivir allí dado el gran volumen de suelo sin edificar y disponible en las distintas urbanizaciones proyectadas. El crecimiento futuro no se hace a partir del núcleo tradicional de población, sino a partir de las

urbanizaciones diseminadas por el territorio. De esta nueva superficie, la mayor parte conformaran la ampliación de la urbanización cerca del campo de Golf Bonmont, y coserá los municipios de Mont-roig y Pratdip.

Tabla 10. Resumen de la evolución de la ocupación urbana de los municipios que experimentaran un crecimiento de más del 100% de su superficie urbana.

Municipio	Crecimiento superficie urbana 06-futuro (%)	Superficie urbana 2006 (m ²)	Superficie urbana futura (m ²)	% urbano sobre total municipio
Montbrí del Camp	257'967	46.263'222	386.430'843	5'1
Vinyols i els Arcs	192'789	338.008'120	1.192.271'565	16'8
Pratdip	154'437	477.232	798.345'203	3'6

B) Municipios que experimentaran un crecimiento de más del 50%

Se tratan de municipios que experimentaran un crecimiento de más del 50%, incluso en ocasiones rozaran el 100%. Es el caso de Vandellòs i Hospitalet de l'Infant, y Mont-roig del Camp. Estos se han dedicado, en el periodo del 1995 al 2006 a urbanizar el contingente de suelo que dispusieron para urbanizar en el periodo anterior. Así, estos preveían un gran crecimiento promovido por el turismo de construcción de segundas residencias, pero el ritmo de crecimiento no fue el mismo que en otros municipios turísticos de la Costa Dorada, al encontrarse un poco más alejados del centro de la Costa Dorada, y sus políticas turísticas se han concentrado sólo en la construcción de segundas residencias. En el caso de Vandellòs i l'Hospitalet de l'Infant, el municipio tiende a crecer hacia el interior.

En el caso de Mont-roig, la incorporación de nueva superficie urbana se localizará en el tramo litoral del municipio y en la ampliación de la urbanización que hay alrededor del campo de Golf Bonmont, unida así al municipio de Pratdip. La ocupación del litoral de este municipio podía haber sido superior si no se hubiese redactado el POUM, donde se reduce la superficie urbana apta para construir como consecuencia de la puesta en funcionamiento del Plan Director del Sistema Costero, del 2004, y en parte, por el Plan de Espacios de Interés Natural, que establecen una franja de protección de 500m de amplitud y la prolongación de espacios de valor natural. En la relación de residentes por habitante, el ritmo constructivo y la envergadura media de las viviendas, el caso de Mont-roig, es muy superior a la media comarcal y al conjunto de Cataluña.

Tabla 11. Resumen de la evolución de la ocupación urbana de los municipios que experimentaran un crecimiento de más del 50% de su superficie urbana.

Municipio	Crecimiento superficie urbana 06-futuro (%)	Superficie urbana 2006 (m ²)	Superficie urbana futura (m ²)	% urbano sobre total municipio
Vandellòs i Hospitalet de l'Infant	96'014	35.314'592	2.498.037'033	4'9
Mont-roig del Camp	83'963	20.410'999	5.381.955'159	18'6

C) Municipios que experimentaran un crecimiento de más del 25%

Este es el caso de Cambrils. La construcción de segundas residencias continua siendo un argumento importante, también lo es la ampliación del polígono industrial. Aunque la construcción de viviendas aisladas decrece, no lo hacen las adosadas, y se crean auténticos polígonos residenciales.

El crecimiento se proyecta hacia el interior del municipio, ya que el litoral aparece saturado. El POUM del municipio contempla una cifra límite de 60.000 habitantes ante los 26.209 habitantes del 2005.

Tabla 12. Resumen de la evolución de la ocupación urbana de los municipios que experimentaran un crecimiento de más del 25% de superficie urbana.

Municipio	Crecimiento superficie urbana 06-futuro (%)	Superficie urbana 2006 (m ²)	Superficie urbana futura (m ²)	% urbano sobre total municipio
Cambrils	26,92662529	850900,108	2265883,187	30,3

DISCUSIÓN

El análisis de la cartografía generada ha permitido llegar a unos resultados que permiten corroborar y materializar algunas de las tendencias que muchos autores llevan tiempo señalando que se están produciendo en los espacios turísticos y a diferentes escalas. A una escala regional, la evolución de la urbanización turística ha llevado a la expansión de este fenómeno hasta los municipios de la segunda línea del litoral, que ven en el turismo las mismas ventajas, y posteriores problemas de esta actividad. Es González quien identifica, por una parte, “la organización de un sistema capilar de pequeños núcleos en segunda línea con un ritmo de crecimiento intenso, recogiendo los excedentes de los municipios litorales faltos de suelo urbanizable (...), y por otra parte, “la tendencia a la desconcentración relativa de los sistemas urbanos principales en beneficio de las ciudades turísticas localidades de tamaño reducido o de estructura de “pueblo” con precios de suelo y de la vivienda más baratos” (2008). Se producen dinámicas de intercambio a una escala regional, convirtiendo al turismo en un fenómeno global y característico de toda la región.

La evolución de la conversión de suelo libre en urbanizable no siempre ha respondido a las necesidades de vivienda de la población autóctona, pero tampoco ha respondido a un aumento demográfico de los municipios, incluso dándose casos en que la población disminuía y la cantidad de suelo para urbanizar aumentaba. El análisis en paralelo de la evolución demográfica ha llevado a ver cómo en muchos casos este hecho responde a las expectativas de los promotores inmobiliarios y las administraciones locales que no a una necesidad real. La forma en que se han urbanizado estos nuevos espacios está estrechamente relacionada con la función que debían acoger: alojamiento turístico. Espacios preparados para acoger a una población durante un período concreto del año, y por tanto de forma temporal, con una tipología de vivienda concreta. Pero con el paso del tiempo estos espacios se han visto afectados por fenómenos de residencialismo: sustitución de viviendas de segundas residencias en primeras (Cuadrado, 2006; Donaire y Mundet, 2001), y que se puede comprobar en el estancamiento de muchos municipios en la incorporación de suelo libre para ser urbanizado, y por una saturación en la línea litoral. Además, se asiste a un cambio de paradigma, donde los habitantes autóctonos buscan vivir de vacaciones, extendiendo el ocio a su ámbito cotidiano. Hecho que sólo se puede producir en las ciudades turísticas. Pié y Barba señalan como “no ha sido la ciudad tradicional con sus mejoras la que está obligando a reformular los espacios turísticos, sino que han sido estos los que han insemñado las formas modernas de hacer ciudad” (1996).

Más allá de esta complejidad de formas y funciones se produce un interrogante aun mayor. Las ciudades turísticas son distintas de las ciudades tradicionales. Su nacimiento y evolución es diferente y no deben ser comparadas (Quero, 2003; Donaire y Mundet, 2001), pero lejos de esta diferenciación, lo cierto es que se produce, en el mismo territorio, una fusión de esta ciudad tradicional mediterránea caracterizada por su compacidad y que evoluciona hacia una dispersión en su crecimiento urbano (Muñoz, 2004), con unos espacios turísticos que cada vez son menos turísticos, desde un punto de vista funcional, pero que desparraman sus formas por el territorio y buscan, precisamente, convertirse en ciudades tradicionales como solución a sus problemas. Problemas y deficiencias que ya están experimentando los municipios de la segunda línea del litoral, y que protagonizando grandes procesos de ocupación del territorio como continuación de las dinámicas de los municipios litorales. Aunque conceptos como la sostenibilidad y la creación de instrumentos que nacen con la voluntad de enmendar los errores producidos en los municipios de primera línea de costa, fruto de la falta de planificación territorial, y sobre todo específica para la actividad turística, lo cierto es que la presión inmobiliaria y los beneficios relacionados con el sector de la construcción relacionada con el turismo, dibujan panoramas muy similares en los municipios de segunda línea litoral. La construcción de viviendas dedicadas a la segunda residencia y de baja densidad, la

utilización del vehículo privado, las piscinas privadas...provocan la supervivencia de un modelo turístico poco sostenible pero económicamente muy rentable para el sector de la construcción (Vera, 1994). Y aunque haya una voluntad de cambio, materializada en la construcción de equipamientos turísticos para explicar estos territorios desde un punto de vista turístico, estos continúan resultando poco sostenibles, en todas sus dimensiones, para el contexto en el que se sitúan, pero turísticamente se configuran como nodos potentes de actividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antón Clavé, S. (2004): De los procesos de diversificación y cualificación a los productos turísticos emergentes: cambios y oportunidades en la dinámica reciente del turismo litoral. *Papeles de Economía Española "Turismo: los retos de un sector estratégico"*, 102: 2-19.
- Cuadrado Ciuraneta, S. (2006): Transformacions recents dels assentaments a la plana de l' Alt Empordà: Un exemple de noves dinàmiques d' urbanització a Catalunya. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 48: 83-104.
- Donaire, J. A.; Mundet, L. (2001): *Estrategias de reconversión turística de los municipios litorales catalanes. Papers de Turisme*, 29: 51-65.
- Gausa, M. (1996): El espacio turístico: Paisaje de límite. En: R. Barba y R. Pié (Eds.), *Arquitectura y turismo: Planes y proyectos*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya y Secretaría General de Turismo. Pp. 111-126.
- González Reverté, F. (2008): El papel de los destinos turísticos en la transformación sociodemográfica del litoral mediterráneo español, *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles (en prensa)*.
- Muñoz, F. (2004): UrBANALització. La producció residencial de baixa densitat a la provincia de Barcelona, 1985-2001. *Geocrítica. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 528.
<http://www.ub.es/geocrit/b3w-528.htm>.
- Pérez Albert, Y. (2006): La adaptación del territorio a la globalización. *Globalizació i cultura*. Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, 129-135.
- Pié, R. y Barba, R. (1996): Segunda residencia y turismo versus residencia permanente. En: R. Barba, y R. (Eds.), *Arquitectura y turismo: Planes y proyectos*. Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya i Secretaría General de Turismo.
- Quero, D. (2003): Geografía y urbanización en las ciudades mediterráneas. Málaga como ejemplo. *Mediterráneo Económico: Ciudades, Arquitectura y Espacio Urbano*, 3: 447-457.
- Vera Rebollo, J. F. (1994): El modelo turístico del mediterráneo español: Agotamiento y estrategias de reestructuración. *Papers de Turisme*, 14-15: 131-148.

Suárez Vega, Rafael; Santos Peñate, Dolores R. y Dorta González, Pablo (2008): Generación de un modelo superficial de la población de Gran Canaria. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 183-193. ISBN: 978-84-96971-53-0.

GENERACIÓN DE UN MODELO SUPERFICIAL DE LA POBLACIÓN DE GRAN CANARIA

Suárez Vega, Rafael; Santos Peñate, Dolores R. y Dorta González, Pablo

Departamento de Métodos Cuantitativos en Economía y Gestión, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Facultad de CC. EE. y EE., 35017, Las Palmas de Gran Canaria. rsuarez@dmc.ulpgc.es, drsantos@dmc.ulpgc.es, pdorta@dmc.ulpgc.es

RESUMEN

La generación de modelos continuos de población consiste en crear una capa raster en la que se almacene de forma continua la población de la zona de estudio, de manera que cada píxel contenga la población del área que representa. Se trata de eludir los múltiples problemas que se presentan cuando se hacen estudios socio-económicos con variables relacionadas con la población a partir de datos agregados en unidades administrativas. En este trabajo se lleva a cabo la generación de un modelo continuo de la población de la isla de Gran Canaria utilizando el método dasimétrico. Para crear la capa auxiliar se ha utilizado un mapa de ocupación del suelo refinada con el apoyo de un mapa de construcciones de la isla. Para estimar las densidades de población para los distintos polígonos de la capa auxiliar se ha optado por analizar la densidad agregada de un área de influencia, imponiendo un mínimo de observaciones en dicho buffer, independiente de los límites administrativos al que pertenece dicha parcela.

Palabras Clave: Desagregación espacial, método dasimétrico, modelo de superficie, datos de población.

ABSTRACT

A surface model of population is a raster map that stores the population of an area in a continuous model. Each pixel in the map has associated the population of the area that represents. The objective is to avoid the several problems that occur in the socio-economic studies based on aggregated population data. In this paper, a surface population model of Gran Canaria island is obtained using dasymetric mapping. A Land Uses map in combination with a Constructions layer have been used in order to generate the ancillary map for the dasymetric method. The population densities of the polygons in the ancillary layer have been calculated taking the aggregated density of an influence area (independent of the administrative limits) where a minimum number of observations has been imposed.

Key Words: Spatial aggreton, Dasymetric mapping, areal interpolation, population data.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo pretende conseguir un mapa que reduzca los distintos inconvenientes originados por el uso de la población como una variable agregada en unidades administrativas. El mayor problema originado por el uso de modelos vectoriales para la representación de la población es que se supone que la distribución de los habitantes es homogénea a lo largo de toda la unidad administrativa. Sin embargo, en Gran Canaria, debido en parte a su accidentada orografía en su parte central, existe gran cantidad de zonas deshabitadas por lo que el supuesto de homogeneidad se ve claramente vulnerado.

La representación cartográfica y estadística más desagregada de la población de Gran Canaria es la relacionada con los núcleos de población. Sin embargo, no se dispone de información sobre la distribución de la población en dichos núcleos. Es por ello que parece lógico que la existencia de una capa que contenga una distribución más fidedigna de la distribución de los habitantes de Gran Canaria aportaría mayor rigurosidad a cualquier estudio socio-demográfico que se realizara en la isla.

El trabajo se encuentra dividido en cuatro secciones. En la primera se introduce el problema haciendo una descripción de los antecedentes y de la metodología a utilizar. En la Sección 2 se presentan tanto la información que se utilizó como base para el proyecto como las fuentes de dónde se obtuvieron. En la tercera sección se describen los procedimientos llevados a cabo para obtener el modelo superficial de la población de Gran Canaria. Por último, en la Sección 4 se presentan algunas conclusiones relacionadas con el trabajo.

Generación de modelos superficiales de población

La generación de modelos superficiales de población consiste en crear una capa raster en la que se almacene de forma continua la población de la zona de estudio, de manera que cada píxel contenga la población del área que representa. Se trata de eludir los múltiples problemas que se presentan cuando se hacen estudios socio-económicos con variables relacionadas con la población a partir de datos agregados en unidades administrativas. Según Santos Preciados y García Lázaro (2003), algunos de los problemas originados por el uso de datos agregados son los siguientes:

La distribución administrativa en la que se encuentran agregados los datos no suele coincidir con la distribución espacial de la variable objeto del estudio. La unificación de los dos escenarios conlleva la pérdida de detalles, en unos casos, o la adición de errores debidos a tener que suponer comportamientos uniformes en las unidades inferiores.

Se presenta el conocido como “problema de la unidad espacial modificable”, es decir, existe la posibilidad de que las inferencias estadísticas hechas a partir de los datos agregados dependan de la unidad espacial en la que hayan sido recopilados.

La representación de estos datos suele ser llevada a cabo utilizando mapas de coropletas. Esto proporciona un efecto visual desproporcionado de las zonas de mayor tamaño así como una sensación de clara discontinuidad de los datos.

La agregación de los datos se basa en el supuesto de que el fenómeno se reproduce de forma uniforme a lo largo de toda la unidad administrativa, hecho algo difícil para zonas en las que se encuentran presentes áreas dedicadas a distintos usos (urbano, agrícola, industrial).

La utilización de un mapa continuo en el que se representase la población eliminaría, o como mínimo, reduciría sustancialmente, los inconvenientes originados por la agregación de la información.

Existen diversos métodos para generar mapas de superficie que representen la distribución de la población. Todos ellos pretenden que se conserve la propiedad picnofiláctica, es decir, que tras la rasterización de los polígonos, la población de cada unidad se siga manteniendo.

Uno de los métodos más elementales utilizados para generar superficies de población es el llamado “areal weighting” (Goodchild, Anselin y Deichmann, 1993), en el que a cada píxel se le asocia la población correspondiente al porcentaje que representa su área con respecto al área total del área administrativa al que pertenece. Bracken y Martin (1989) y Martin (1989) proponen el método IDW (Inverse Distance Weighted) en el que la población inicial es agregada en los centroides de las áreas administrativas y la población en cada píxel es calculada en función de los vecinos de tal forma que aportan más aquellos que son más próximos.

La técnica que se va a utilizar en este trabajo es el método dasimétrico (dasymetric method) propuesto por Wright (1936). Este método utiliza información auxiliar para llevar a cabo una distribución más real de la población. Las capas de información auxiliar más utilizadas son los mapas de ocupación del suelo, a partir de los cuales se pueden definir distintos niveles de densidad de población, y en función de ellos repartir la población. La utilización de este método permitiría, entre otras mejoras, descartar a priori zonas deshabitadas y mejorar por tanto el resultado final.

En las primeras aplicaciones del método dasimétrico, para distribuir la población tan sólo se distinguía entre zonas habitadas y no habitadas. Sin embargo, estas técnicas han ido mejorándose con el uso de mapas de ocupación del suelo. Eicher y Brewer (2001) utilizan un mapa de ocupación del suelo para clasificar el área de estudio en tres niveles, urbano, agrícola y bosques. A cada uno de estos niveles les asignaron, de forma subjetiva, un porcentaje de la población del área (70 %, 20 % y 10 %, respectivamente). Este método cuenta con dos

problemas principales, el primero es la subjetividad de la elección de los porcentajes y el segundo es que estos porcentajes son los mismos para toda el área de estudio, obviando las diferencias entre distintas áreas administrativas.

Mennis (2003) ha propuesto un método para generar superficies de población en el que pretende vencer los problemas anteriormente señalados. El método consiste en utilizar un mapa de ocupación del suelo y clasificarlo en tres niveles según su densidad de urbanización. Este autor no utiliza valores arbitrarios para los porcentajes de participación de cada nivel, sino que éstos son estimados a partir de los datos existentes. Estos porcentajes son calculados a nivel de las unidades administrativas superiores y aplicados a las unidades inferiores pertenecientes a éstas. Además, en cada área, la población asignada a cada nivel es calculada en función del porcentaje de participación en la población y del porcentaje que supone su área en relación con el área total de la unidad administrativa.

Metodología

En este trabajo se ha seguido en líneas generales el método propuesto por Mennis (2003) con una pequeña modificación. En Gran Canaria, la distribución de la población no es la misma en el Sur (menos habitado y con la población más concentrada) que en el Norte (con población más dispersa) por lo que no nos parece lógico utilizar una única estimación para los porcentajes de participación de cada uso. Tampoco nos parece lógico restringir la estimación a los valores conocidos dentro de una unidad administrativa mayor ya que consideramos que la densidad de cada tipo estará más afectada por aquellas que, siendo de la misma clase, se encuentran más próximas. Por ejemplo, aquellos núcleos que se encuentren próximos a la frontera de una unidad administrativa estarán influenciados, no sólo por lo que pase dentro de esa unidad, sino también por la forma en que se distribuye la población en las unidades colindantes. Es por ello que se ha optado por definir un radio de influencia para cada parcela y estimar los porcentajes a partir de los datos pertenecientes a ese área de influencia.

En la Figura 1 se muestran los pasos seguidos para realizar este proyecto. La primera acción llevada a cabo ha sido la recopilación de la información, tanto cartográfica como alfanumérica, para la realización del trabajo. La información relacionada con la población, mapa con los núcleos de población y Padrón Municipal de Habitantes de 2006, se obtuvo del ISTAC (Instituto Canario de Estadística). La información concerniente a los usos del suelo y la distribución de las construcciones se obtuvo utilizando un programa online promovido por el Gobierno de Canarias denominado MAPA. A partir del mapa de población, desagregado en núcleos de población, y del mapa de usos habitados, se creó la capa auxiliar conteniendo, para cada núcleo de población, las zonas habitadas correspondientes a cada uso. Siguiendo la línea del trabajo de Mennis (2003), se estimaron las densidades de población para cada una de las parcelas de la capa auxiliar, consiguiendo con ello una capa de polígonos donde a cada uno de ellos se le asignaba un valor correspondiente al número de habitantes por píxel (teniendo en cuenta la definición final del modelo). Finalmente, el modelo superficial de población es obtenido mediante la conversión a raster de la capa auxiliar utilizando como valor el del número de habitantes por píxel.

Señalar que el programa utilizado para llevar a cabo todas las operaciones espaciales de este proyecto es el ArcGis9.2.

OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN BASE

La información base ha sido obtenida a partir de dos fuentes. Por un lado, la información sobre la ocupación del suelo y el mapa de construcciones de Gran Canaria ha sido visualizada utilizando el programa MAPA promovido por el Gobierno de Canarias. Por otro lado, la información referente a la población (Padrón Municipal de Habitantes de 2006) y cartografía conteniendo la distribución administrativa han sido suministradas por el ISTAC.

Usos del suelo y construcciones

Para obtener información sobre los usos del suelo y las construcciones en Gran Canaria se ha utilizado el programa MAPA. Éste es una herramienta SIG promovida por el Gobierno de Canarias bajo el soporte técnico de la empresa Cartografía de Canarias, S.L. (GRAFCAN). El acceso a este programa se realiza a través de convenios y actualmente está siendo utilizada principalmente por las Consejerías, Cabildos Insulares y Ayuntamientos, así como por las universidades canarias. El programa funciona a través de Internet utilizando un servidor mantenido por GRAFCAN, quien se encarga de cargar los mapas y actualizar los contenidos.

Esta herramienta es principalmente un visor de información cartográfica, aunque también dispone de ciertas herramientas básicas de edición. Permite el visionado de capas raster y vectoriales, siempre que estén en su servidor y utilizando la simbología prefijada por el administrador. El programa tiene acceso a una base de datos cartográficos en la que se acumula información generada tanto por GRAFCAN como por las distintas administraciones públicas (Gobierno del Estado, Gobierno de Canarias, Cabildos Insulares y Ayuntamientos).

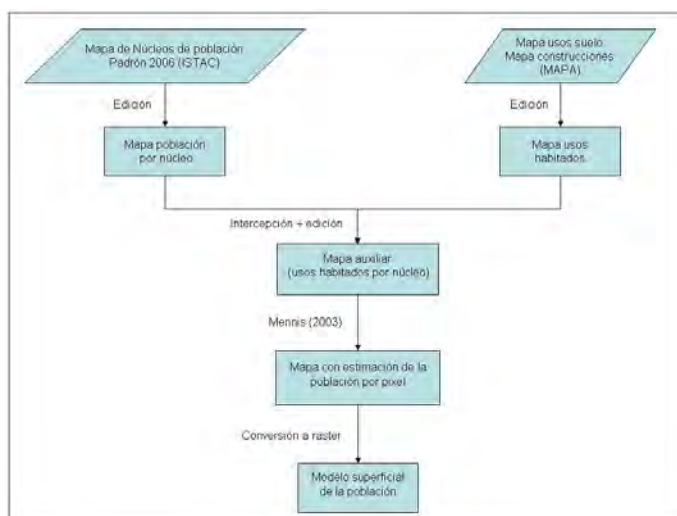


Figura 1. Pasos seguidos para obtener el modelo de superficie de la población

Aunque existen vistas predefinidas por el administrador, se puede crear una vista de usuario a la que se añadan las capas que se deseen. Además, se puede importar capas en formato shp desde nuestro ordenador, o se pueden crear nuevas capas en este formato y exportarlas a la máquina desde donde nos conectemos. Una vez que se crea una capa de usuario, ésta puede ser editada. Por ejemplo, se le pueden añadir elementos que se encuentran en la vista sin más que copiar y pegar. En la nueva capa aparecerán los shap es seleccionados aunque no retienen ninguna información alfanumérica de la capa origen.

Distribución de la población de Gran Canaria

El ISTAC nos ha suministrado la información referente a la distribución de la población en la isla de Gran Canaria, esto es, los datos del Padrón Municipal de Habitantes de 2006 y un mapa con la distribución de los núcleos de población de Gran Canaria.

A nivel de unidades administrativas, el nivel más desagregado de información que nos ofrece el Padrón Municipal de Habitantes es el de Entidades, que a su vez están formadas por Núcleos de Población. Generalmente, las entidades suelen tener un núcleo denominado “Diseminado” en el que se aglutinan las zonas que no contienen concentraciones de población claramente destacadas.

El ISTAC nos suministró un mapa por cada municipio a escala 1/25000 (en formato shp) conteniendo la distribución de los núcleos de población. Todos estos mapas fueron agregados en una única capa insular de núcleos de población formada por un total de 1030 núcleos.

El primer paso fue la elaboración de un mapa que reflejase la distribución de la población de Gran Canaria desagregada por núcleos de población. Para ello se tenía que asociar la tabla Excel que contenía la población con el mapa de los núcleos de población. Sin embargo, la tabla de población no pudo ser unida directamente a la capa cartográfica ya que no existía una relación biunívoca entre las dos tablas. Por ello, para conseguir la capa final con la distribución de la población de Gran Canaria se realizó un duro trabajo de edición para asignar la población a las 1030 parcelas pertenecientes al mapa de núcleos de población. En la Figura 2 se muestra la capa resultante con los núcleos de población y su población correspondiente.

A través de MAPA se puede visualizar una capa de núcleos de población de Gran Canaria y utilizando el botón de información podemos consultar la población de cada uno de ellos. Sin embargo, consideramos que la capa que hemos elaborado en este proyecto mejora a ésta en los siguientes aspectos.

Se subsanaron errores en la denominación de algunas entidades.

La población diseminada en aquellas entidades con varias parcelas catalogadas como DISEMINADO ha sido repartida en función de la densidad de edificios existentes en cada parcela. En la capa visualizada en MAPA se asigna la población total diseminada a cada una de las parcelas, por lo que no serviría para nuestros fines ya que la población final diseminada en la entidad será tantas veces como el número parcelas DISEMINADO que tenga.

En el Padrón Municipal existe un núcleo denominado “Palmas de Gran Canaria (Las)” con una población asociada de 308993 habitantes. Este macronúcleo está formado por la zona metropolitana de la ciudad y aglutina un total de 49 núcleos del mapa de núcleos de población. MAPA no ofrece ninguna información en cuanto a la población para cada uno de estos núcleos y nosotros la hemos actualizado utilizando los datos de población del año 2006 suministrados por el Departamento de Estadísticas del Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria.

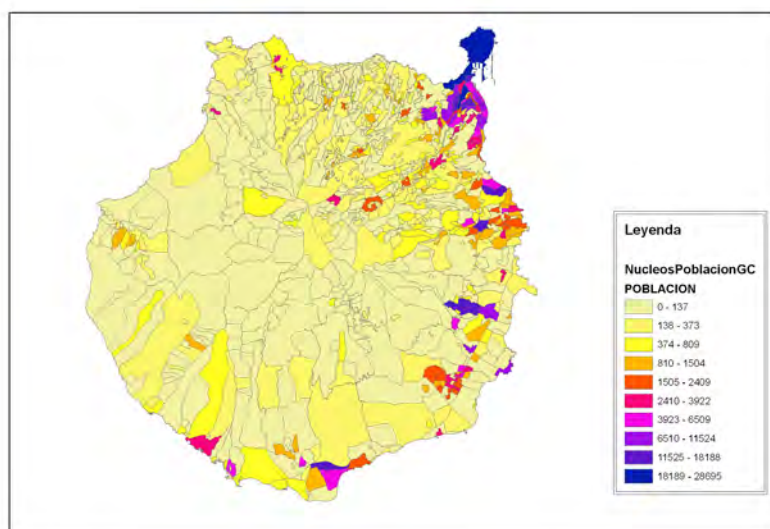


Figura 2. Población de Gran Canaria agregada en núcleos de población

ELABORACIÓN Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se describe la metodología llevada a cabo para elaborar la capa auxiliar que contenga la información sobre las zonas habitadas y su uso del suelo. Posteriormente, tomando como hilo conductor al trabajo de Mennis (2033), se llevará a cabo la estimación de las densidades de población asociadas a cada núcleo de población en función del uso del suelo. A partir de estos datos, se calculará la población que se le asignará a cada píxel de la capa final del modelo superficial de la población de Gran Canaria.

Digitalización de la capa auxiliar

El éxito del método dasimétrico se basa en conseguir una capa de información auxiliar en la que se clasifique el área de estudio en distintos niveles según su densidad de población de la forma más fiel posible. En nuestro caso, hemos elegido como base para crear la capa auxiliar al Mapa de Ocupación del Suelo del año 2002 (MOS02) visionado a partir de MAPA.

Por ello, para elaborar el mapa que determine las partes pobladas de la isla se ha creado una capa interna de polígonos en el programa MAPA (UsosHabitados) en el que se copiarán todas las parcelas del MOS02 que se consideren habitadas. Una vez creada esta capa interna, se procedió al copiado de todas las parcelas pertenecientes a los usos Residencial Continuo, Residencial Diseminado y Residencial en Vial por considerarlas, obviamente, habitadas. Entre el resto de los usos no había ninguno que pudiera ser considerado habitado en todos los casos por lo que se decidió hacer una selección individualizada apoyándonos en el mapa de Construcciones. Todas estas parcelas se agruparon en un único tipo que hemos denominado “Agrícola” y que contiene principalmente parcelas agrícolas de distintos tipos de cultivo y suelo desnudo.

En cuanto a la utilización de la capa de Construcciones para la selección de las zonas “Agrícola” habitadas se han de realizar ciertas puntualizaciones: En la capa Construcciones tan sólo se ha tenido en cuenta el valor “Edificio”. Dentro del calificativo Edificio, además de viviendas de uso residencial, podemos encontrarnos con viviendas no habitadas, cuadras o graneros. Las edificaciones del tipo de viviendas pareadas o bloques de apartamentos aparecen como una única edificación. Por todo ello, la cantidad de edificios en un área no es un indicador exacto de la densidad de población de dicha zona. Sin embargo, se puede considerar que el número de edificios siempre será superior al de viviendas residenciales, por lo que aquellas zonas sin edificios, o con una densidad muy baja de éstos, pueden ser consideradas como no habitadas o con una probabilidad muy baja de ser habitadas.

La capa así obtenida (UsosHabitados) consta de 1317 polígonos y se muestra en la Figura 3. Obsérvese que la mayor superficie se corresponde al uso Agrícola (799 polígonos y 40888 Has), seguido del Residencial Continuo (264 polígonos y 6282 Has). Dedicados a Residencial Vial existen 710 Has distribuidas en 174 polígonos y para Residencial Diseminado 586 Has en 80 parcelas.

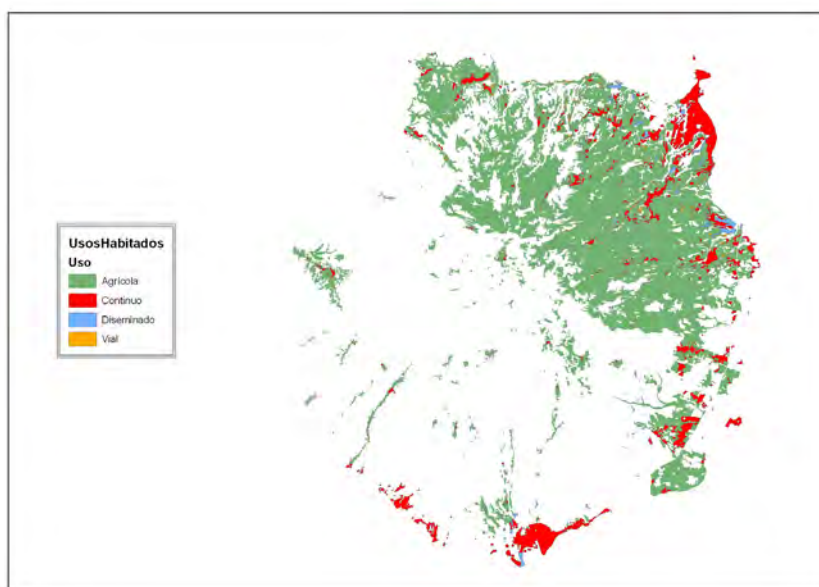


Figura 3. UsosHabitados

Como para cada núcleo de población se necesita tener las áreas habitadas, clasificadas según los cuatro usos utilizados en este trabajo, se procedió a la intersección de la capa de los núcleos de población con la de los usos habitados. Esta nueva capa contiene muchos más polígonos que la inicial (unos 6451), por lo que ahora apare-

cen nuevas parcelas descartables como habitadas debido a su baja densidad de edificios. Por ello se llevó a cabo un nuevo filtrado de esta capa para intentar que representase lo más fielmente posible las zonas habitadas de Gran Canaria. Tras el filtrado y algunos trabajos de edición se consiguió que la nueva capa estuviera formada por 4109 parcelas.

Como el objetivo final es tener clasificadas las zonas habitadas de cada núcleo según los cuatro usos considerados en el proyecto, se llevó a cabo la agregación de las parcelas que pertenecen al mismo núcleo de población según su uso. Además, se añadió una nueva parcela que contenía la parte no habitada de la isla y el resultado fue almacenado en la capa *mascara_final.shp* (Figura 4). Esta es la capa que será utilizado como mapa auxiliar para determinar las zonas que están habitadas o no y de que tipo es el uso para las que lo estén.

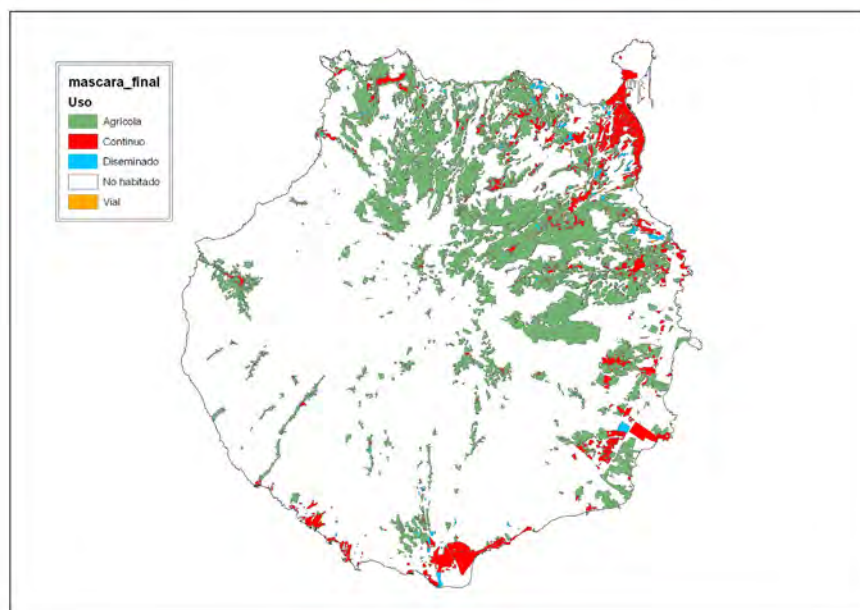


Figura 4. Capa auxiliar que clasifica las zonas habitadas de Gran Canaria

Estimación de la población para las parcelas habitadas

Para estimar la densidad de población de cada uso (Continuo, Disperso, Vial y Agrícola) se utilizó como muestra a los núcleos que tenían asignado un único uso habitado. A continuación se describe cómo se estimó la densidad agregada de cada una de las parcelas de uso Continuo. El mismo procedimiento se llevaría a cabo con los otros usos.

Para estimar la densidad de población de las parcelas de tipo Continuo se utilizó como muestra a aquellos núcleos de población que únicamente tienen asociado el uso Continuo. A cada polígono de uso Continuo (no único en el núcleo de población) se le asoció la demanda agregada (suma de población/suma de superficie) de los núcleos pertenecientes a la muestra que se encuentren a menos de 10000 m, siempre y cuando existan al menos cinco unidades de la muestra en este entorno. De no ser así, se amplía el radio de influencia a 15000 m, 20000 m y 25000 m., si fuese necesario. Si no se consiguiera un mínimo de cinco elementos a los 25000 m se utilizaría la densidad agregada de todos los núcleos de población pertenecientes a la totalidad de la muestra.

En la Figura 5 se muestran las distintas áreas de influencia utilizadas para la estimación de la demanda agregada de las parcelas 2, 33 y 43. Obsérvese que la utilización de este tipo de área de influencia es una variación con respecto al trabajo de Mennis (2003) quien realizó las estimaciones a partir de los elementos de la muestra incluidos en la unidad administrativa a la que pertenece cada parcela (en nuestro caso la entidad).

Este proceso se repitió para el resto de los usos habitados, consiguiéndose así estimar la densidad de población de cada uno de los polígonos de *mascara_final.shp*. La Figura 6 muestra la distribución de las densidades de población para las distintas zonas de Gran Canaria.

Todas las parcelas de tipo “Agrícola” fueron estimadas a partir de un área de influencia de 10000 m., mientras que las del tipo “Disperso” tuvieron que ser calculadas a partir de la densidad agregada de toda la muestra.

Creación de la capa final del modelo de superficie de la población

Una vez se ha estimado la densidad para cada una de las parcelas pertenecientes a la capa auxiliar se obtuvo la población asociada a cada píxel en el modelo superficial de población. Se utilizó un tamaño de píxel de 10 m ya que si se utilizaban tamaños superiores se perdía mucha precisión con respecto al detalle de la capa *mascara_final.shp*. Los pasos seguidos se describen a continuación.

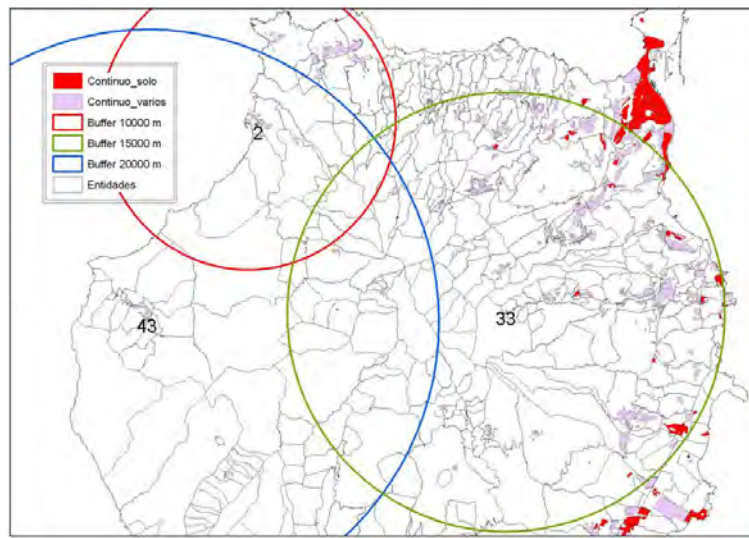


Figura 5. Área de influencia para las parcelas 3, 33 y 43

Para cada núcleo de población i , se calculó un parámetro para medir la importancia relativa de la densidad de población del uso j (Continuo, Disperso, Vial y Agrícola). Si p_{ij} es la densidad estimada del uso j en el núcleo de población i , la importancia relativa de este uso en este núcleo de población viene dada por

$$d_{ij} = \frac{p_{ij}}{p_{iA} + p_{iC} + p_{iD} + p_{iV}}, \quad j \in \{A: \text{Agrícola}, C: \text{Continuo}, D: \text{Disperso}, V: \text{Vial}\}.$$

Seguidamente se calculó la proporción de la población total del núcleo i que es asignada al uso j ,

$$f_{ij} = \frac{d_{ij} \cdot n_{ij}}{d_{iA} n_{iA} + d_{iC} n_{iC} + d_{iD} n_{iD} + d_{iV} n_{iV}},$$

donde $n_{iA}, n_{iC}, n_{iD}, n_{iV}$ se corresponden con el número de celdas asociadas al uso j en el núcleo i . El siguiente paso fue calcular la población asignada a cada celda del uso j en el núcleo de población i , $p_{ij} = \frac{f_{ij} p_i}{n_{ij}}$, donde p_i es la población del núcleo i .

Finalmente, los valores p_{ij} fueron asociados a la capa *mascara_final.shp* y fueron utilizados para convertir esta capa a raster y obtener así el modelo superficial de la población de Gran Canaria. La Figura 7 muestra un detalle en el que se compara el modelo obtenido con el de coropletras. Obsérvese, por ejemplo, que en el mapa

raster la mayor parte de la pequeña península de la Isleta (en el Noreste del mapa) pasa a estar deshabitada. También se ha producido un proceso de homogeneización de la población en la zona metropolitana de la capital desapareciendo sustancialmente las discontinuidades presentes en el mapa de polígonos.

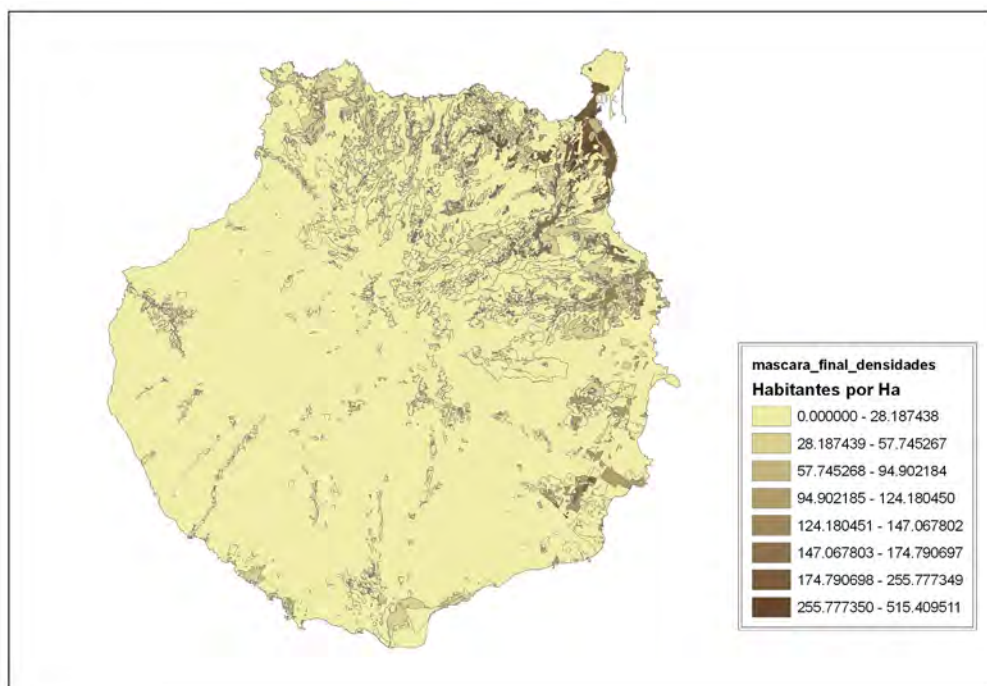


Figura 6. Densidades agregadas para el uso Continuo

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha creado un modelo superficial para describir la distribución de la población de Gran Canaria. El objetivo era obtener una representación que consiguiera reducir los abundantes problemas que suscita el empleo de mapas vectoriales en los que la población es agregada en unidades administrativas.

Para llevar a cabo el proyecto se ha tenido que vencer los inconvenientes de no contar con la información adecuada o de no tenerla en el formato idóneo. Por un lado, para describir la distribución de la población en Gran Canaria se contaba con la cartografía de los núcleos de población pero ésta no estaba acompañada de los datos de población. Por esta razón, se tuvo que incorporar los datos poblacionales del Padrón Municipal de Habitantes de 2006 a esta capa. El trabajo fue considerable ya que el proceso no pudo ser automático. Sin embargo, se ha conseguido una capa de población que, a nuestro entender, y basándonos en los argumentos descritos en la memoria, mejora a la ofrecida por GRAFCAN a través de la herramienta MAPA.

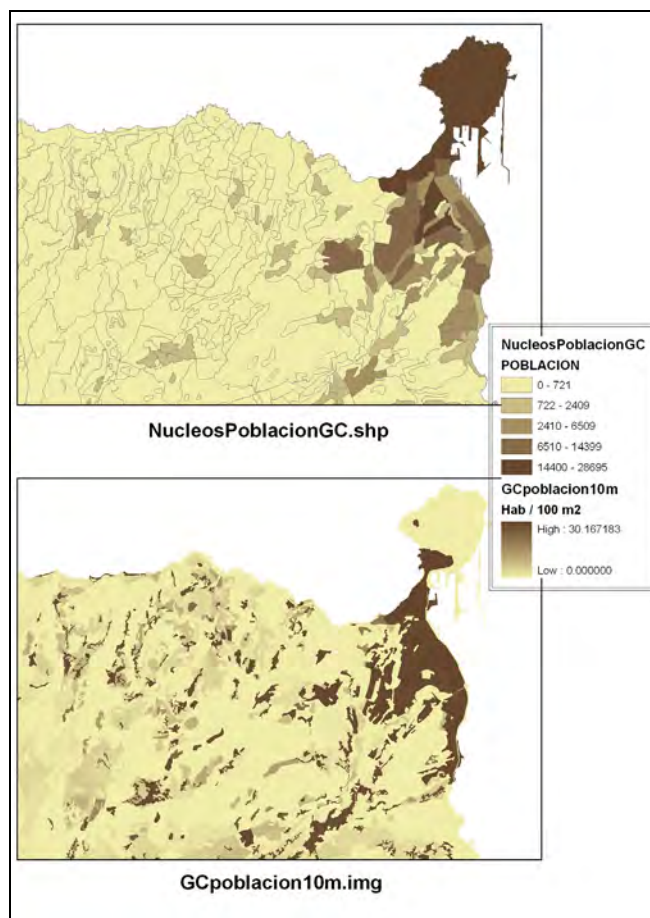


Figura 7. Comparación entre el mapa de coropletas y el raster

Uno de los objetivos intermedios del trabajo era conseguir una capa auxiliar que determinara, de manera lo más fiel posible, cuáles eran las zonas habitadas de la isla y qué nivel de población podría asignársele. Para ello se ha utilizado principalmente la capa de usos del suelo del año 2002. Los usos residenciales fueron incluidos como habitados por defecto, mientras que para el resto se decidió si lo estaban con ayuda del mapa de Construcciones (tomando como único valor a Edificio). El resultado, tras un largo trabajo de edición, es una capa en la que se ha descartado una porción bastante grande de superficie y en la que la el área poblada se ha clasificado en cuatro niveles de densidad de población.

Para llevar a cabo la estimación de la población correspondiente a cada celda del mapa raster que contenía la superficie habitada de Gran Canaria se han seguido los pasos marcados por el trabajo de Mennis (2003). Sin embargo, este seguimiento no ha sido estricto ya que se ha modificado el criterio que este autor utilizó para estimar las densidades de los núcleos de población. En este trabajo se ha optado por no restringirnos a las unidades administrativas a la hora de elegir los elementos de la muestra necesarios para estimar las densidades, sino que se determinaron áreas de influencia en torno a cada elemento y la estimación se realizó a partir de los datos incluidos en ellas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte del trabajo fin de master del programa unigis de formación a distancia en sig y ha contado con la subvención del proyecto: mtm2005-09362-c03-03

REFERENCIAS

- Bracken, I. y Martin, F. (1989): The generation of spatial population distributions from census centroid data. *Environment and Planning A*, 21: 537-543.
- Eicher, C.L. y Brewer, C.A. (2001): Dasymetric mapping and areal interpolation: Implementation and evaluation. *Cartography and Geographic Information Science*, 28(2): 125-138.
- ISTAC Instituto Canario de Estadística <http://www.gobiernodecanarias.org/istac/index.html>
- Goodchild, M.F., Anselin L. y Deichmann U. (1993): A framework for the areal interpolation of socioeconomic data. *Environment and Planning A*, 25: 393-397.
- GRAFSCAN, Cartografía de Canarias, S.L. <http://www.canarias.org/grafcan/homeEXP.htm>
- Martin, F. (1989): Mapping population data from zone centroid locations. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 14: 90-97.
- Mennis, J. (2003): Generating Surface Models of Population using dasymetric mapping. *The Professional Geographer*, 55(1): 31-42.
- Santos Preciado, J.M. y García Lázaro, F.J. (2003): El Método Dasimétrico-Picnofiláctico: Un procedimiento para la desagregación de datos censales. *IX Conferencia Iberoamericana de SIG*, Cáceres.
- Wright, J.K. (1936): A method of mapping densities of population with Cape Cod as an example. *Geographical Review*, 26: 103-110.

Vilches Blázquez, Luis Manuel; Cañete Pérez, José Antonio; Corcho, Óscar y Bernabé Poveda, Miguel Ángel (2008): Interrelaciones entre las tecnologías de la información geográfica y la ingeniería ontológica para la mejora de la gestión de los recursos geo-espaciales. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 194-206. ISBN: 978-84-96971-53-0.

INTERRELACIONES ENTRE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y LA INGENIERÍA ONTOLÓGICA PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS GEO-ESPACIALES

Vilches Blázquez, Luis Manuel¹; Cañete Pérez, José Antonio²; Corcho, Óscar¹ y Bernabé Poveda, Miguel Ángel³

(1.) Ontology Engineering Group. Departamento de Inteligencia Artificial, Facultad de Informática - Universidad Politécnica de Madrid. Campus de Montegancedo s/n. Boadilla del Monte. 28660 Madrid. 1mvilches@delicias.dia.fi.upm.es; 3ocorcho@fi.upm.es

(2) Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Granada. Campus Universitario de Cartuja s/n. 18071. Granada. 2joseaca@ugr.es

(3) ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad Politécnica de Madrid. Km 7.5 de la Autovía de Valencia. 28031 Madrid. 4ma.bernabe@upm.es

RESUMEN

La incorporación de las Técnicas de Información Geográfica (TIGs) en los procesos de planificación territorial es un hecho evidente, en muchos casos reflejado como una mera forma de presentar cartografías digitales, más que como auténticas herramientas para la toma de decisiones. Los principales factores que originan este hecho son la ausencia de formación técnica y cierta ausencia del desarrollo metodológico-técnico a nivel de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de las actuales Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEs).

Actualmente, derivada de la importancia de los geodatos y de la necesidad de una gestión eficaz de la Información Geográfica (IG) son cada vez más frecuentes términos como “interoperabilidad”. Esta difícilmente será alcanzable, en su sentido más amplio, si no se establece un cuerpo básico (vocabularios comunes y compartidos) en el que los distintos agentes que intervienen en el territorio estén de acuerdo sobre los propios contenidos (conceptos) del mismo.

La presente comunicación aborda la utilización de la Ingeniería ontológica – y las ontologías como una de sus herramientas clave- y su interrelación con las TIGs para mejorar la gestión de los recursos geo-espaciales. La interrelación de estas técnicas supone un avance incuestionable en la gestión y análisis derivado de la IG.

Palabras Clave: Tecnologías de la Información Geográfica, ontologías, Información Geográfica, interoperabilidad.

ABSTRACT

The use of Geographical Information Technologies is obvious in spatial planning processes; however, these technologies are often used as a simple way of presenting digital cartographies rather than as authentic tools for making decisions. The main issues causing this fact are the lack of technical training and the absence of methodological-technical development in Geographic Information Systems (GIS) and in the current Spatial Data Infrastructures.

Nowadays, terms such interoperability are becoming key concepts, and this is so because geodata are a key factor in Geographical Information (GI). However, interoperability will hardly be achieved, in a wide sense, without a framework of common and shared vocabularies in which the different agents working in the territory agree on the concepts of such framework.

This paper deals with the use of ontological engineering- of which ontologies are key tools- and shows how it interrelates with Geographical Information Technologies in order to improve the management of geospatial resources. The merging of these GI Technologies and ontological engineering is a great advance in the analysis and management of GI.

Key Words: Geographical Information Technologies, ontologies, Geographical Information, Interoperability.

INTRODUCCIÓN

A finales de los años 70 principios de los 80 las aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), eran consideradas islas de información, dado que estaban auto-contenidas en sistemas independientes, donde los datos espaciales estaban capturados, almacenados, analizados y visualizados digitalmente. Los datos, raramente, eran adquiridos de fuentes digitales dado lo cerrado de los formatos de los ficheros de las diferentes aplicaciones. Los avances en las Tecnologías de la Información Geográfica (TIGs) y el crecimiento de la demanda de usuarios condujeron a superar los múltiples obstáculos. En una época más reciente, los usuarios comenzaron a realizar ineficientes y redundantes datos proporcionados por lo que se denomina, procesos *'batch'*. (Bishr, 1998). En estos momentos, dichas herramientas eran utilizadas para la visualización cartográfica de la información, obviando el poder de las mismas en los procesos de toma de decisión territorial.

Con el rápido desarrollo de los sistemas de información y el paradigma de las bases de datos distribuidas, surge la necesidad de los SIGs interoperables, con el fin de conseguir intercambio de datos transparentes y acceso remoto a servicios web que estas herramientas proporcionan (Bishr, 1998). Así, una de las principales motivaciones para el desarrollo de los SIG Web y las actuales Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEs)¹ es hacer más eficiente el trabajo con los geodatos (McKee, 2000; Nerbert, 2001). Para ello, se crean los estándares del Comité Técnico 211 del International Organization for Standardization (ISO/TC 211), World Wide Web Consortium (W3C) y del Open Geospatial Consortium (OGC) con los que se resuelven problemas derivados de la diferencia de formatos de información, consiguiendo interoperabilidad, es decir, “la capacidad de comunicarse, para ejecutar programas, o para transferir datos entre varias unidades funcionales de una manera que requiera al usuario tener poco o nada de conocimiento de las características únicas de esas unidades” (ISO 19119, 2002). Con esto se alcanza una sintaxis homogénea para datos y servicios geográficos, es decir, lo que se conoce como interoperabilidad sintáctica.

Solventado este primer obstáculo, la complejidad y la riqueza de los datos geográficos junto a la dificultad de su representación presentan otras cuestiones específicas para la interoperabilidad de los SIG y las IDEs, concretamente, las referidas a la interoperabilidad semántica. En este sentido, el desarrollo de la Ingeniería Ontológica y, más concretamente, la utilización de las ontologías (como instrumento para capturar y compartir la semántica de cualquier área) dentro del dominio geográfico se han convertido en factores clave ante la posibilidad de solucionar estos problemas que presenta la IG. Ante esto, la Ingeniería Ontológica pretende modificar muchos conceptos, ideas y estrategias aplicadas en los procesos de estructuración y gestión “clásica” de la IG.

Este artículo está estructurado de la siguiente manera: un acercamiento genérico a los diferentes problemas que presenta la información geográfica es mostrado en la sección 2. En la sección 3, se realiza una breve introducción al concepto de ontología y se mencionan algunas razones que conllevan su desarrollo. La interrelación entre IG y ontologías aparece en la sección 4 y en la sección 5 son expuestas algunas conclusiones generales.

UN ACERCAMIENTO GENÉRICO A LA PROBLEMÁTICA DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Hoy día, los servicios Web de los diferentes SIG, también conocidos como Sistemas de Información Territorial, e IDEs presentan una mera integración de información a modo de superposición de capas con gran diversidad temática, en ocasiones, provenientes de diferentes productores. Este hecho, junto a otras características de la IG, pone de manifiesto importantes heterogeneidades derivadas de la falta de consenso, de diferencias de intereses y necesidades y de las inercias de los procesos de producción, evidenciando la ausencia de una interoperabilidad semántica.

Desde un punto de vista general, la IG, según (Commission of the European Communities, 2007) debe ser almacenada, ofertada y mantenida al nivel más adecuado. Sin embargo, es generada, mantenida y actualizada con diferente calidad y estructuración por diversos productores. En la práctica, esto provoca la construcción de múltiples conjuntos de bases de datos espaciales con una gran heterogeneidad de catálogos de fenómenos (vo-

¹ Conjunto de tecnologías, políticas y acuerdos institucionales destinados a facilitar la disponibilidad y el acceso público a la información espacial (Wikipedia - <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>)

cabularios) y modelos de datos (organización de la información). Esto refleja la coexistencia actual de una gran variedad de fuentes con diferente información, estructura y semántica sin un marco general armonizador.

Desde un punto de vista más específico dentro del dominio geográfico, el concepto más importante es el de fenómeno (*feature*), consecuencia de que Open GeoSpatial Consortium (OGC) (OGC, 2003) afirma que el fenómeno geográfico (*geographic feature*) es el punto de partida para el modelado de la información geo-espacial. Por esta razón, la unidad básica de la IG dentro de la mayoría de modelos es el *feature*, es decir, una abstracción de un fenómeno del mundo real asociado con una localización en la superficie terrestre, de la que son recogidos, mantenidos y diseminados datos (ISO, 2005). Los *features* pueden incluir representaciones de un amplio rango de fenómenos que pueden ser localizados en el tiempo y el espacio tales como edificios, ciudades, redes geométricas, imágenes georreferenciadas o capas temáticas. Esto significa que, tradicionalmente, un fenómeno encierra en un concepto todo lo que un área temática considera sobre un sencillo fenómeno geográfico (Greenwood et al., 2003).

Esta heterogeneidad, combinada con la necesidad de compartir y superponer información de diferentes fuentes por parte de una miscelánea de usuarios, provoca variados e importantes problemas cuando se tratan en las tareas de consulta, recuperación, explotación, actualización y visualización de la geo-información, ante las que todo usuario demanda sencillez, eficacia y seguridad.

Heterogeneidad de vocabularios y bases de datos

De la definición y uso del concepto *feature* se extrae que éste no está predeterminado para una clase, sino que un individuo de un fenómeno (por ejemplo, “Río Ebro”) puede ser clasificado de una manera u otra dependiendo del dominio de clasificación. Por tanto, parece evidente que esos *features* no son la unidad atómica de la IG como los fenómenos que ellos representan, puesto que, encierran diferentes conceptos humanos resultantes de tipos múltiples (Greenwood et al., 2003). Esto evidencia que la realidad geo-espacial es percibida subjetivamente y que su contenido depende de los enfoques particulares.

Esta heterogeneidad también queda reflejada en la diversidad de contenido que presentan los diferentes catálogos que agrupan a los conjuntos de *features*. Este hecho provoca dificultades en el momento de la integración de información de diferentes bases de datos, siendo estas remotas e independientes, ya que puede variar la representación geométrica e incluso proporcionar diferentes respuestas ante una consulta (consecuencia de la utilización de diferentes términos para un mismo *feature*) a pesar del tratamiento del mismo fenómeno del mundo real.

Otro problema común en el acceso a las bases de datos geográficas está relacionado con los pobres modelos de implementación. Algunas bases de datos tienen sólo una tabla única donde toda la información es almacenada, mientras que otras son organizadas en diferentes tablas con o sin escasas relaciones entre ellas.

Factor escala

El factor escala actúa como filtro en la representación cartográfica, así como en catálogos y diccionarios de información geo-espacial. Por esta razón, la consideración de información a diferentes escalas (local, regional y nacional), por parte de diferentes productores nacionales, hace que la granularidad de la información varíe dependiendo de la fuente y su escala de referencia. Esto afecta a la resolución geométrica y semántica, o lo que es lo mismo, afecta a la comprensión de la realidad geográfica. Además, la existencia de diferentes fenómenos a diferentes escalas es un problema añadido en la generalización cartográfica, debido a las dificultades encontradas en los procesos de superposición tanto gráfica como conceptual entre diferentes catálogos.

Ambigüedad del lenguaje, diferencias semánticas y variedad idiomática

Los problemas relacionados con la ambigüedad del lenguaje están relacionados con la heterogeneidad proveniente de la polisemia, sinonimia, hiperonimia y homonimia. Estos problemas aparecen en muchos conceptos en la IG, debido al hecho de que no existe un marco semántico armonizador. Prueba de esto, es el hecho de que

podemos encontrar diferentes catálogos y/o diccionarios con una gran variedad de conceptos asociados al mismo *feature* (por ejemplo; “río”, “curso fluvial”, “curso de agua principal”, etc.).

Las diferencias semánticas en el dominio geográfico son numerosas e importantes. Un ejemplo iterativo es la definición del *feature* “Río”. La Directiva Europea Marco del Agua lo define como “una masa de agua continental que fluye en su mayor parte sobre la superficie del suelo, pero que puede fluir bajo tierra en parte de su curso” (European Parliament, 2000), para el Instituto Geográfico Nacional es una “corriente natural de agua de caudal considerable aun en estiaje”. Mientras, para el Diccionario de la Real Academia de la Lengua “Corriente de agua continua y más o menos caudalosa que va a desembocar en otra, en un lago o en el mar”.

A todo esto se une el factor añadido referido a la existencia y reconocimiento oficial de cuatro lenguas oficiales en el ámbito territorial nacional, como son el catalán, gallego, euskera y castellano. Por tanto, una especial atención merece el aspecto multilingüe de la IG y sus consiguientes catálogos y bases de datos.

Formas de estructuración

Las formas más comunes de estructuración de fenómenos geográficos empleadas por los productores de información, tales como catálogos de fenómenos y tesauros, conllevan una pobre y rudimentaria modelización de la información, es decir, la estructuración de los nombres (conceptos), códigos, atributos y otras características asociadas a la geometría. Las definiciones usualmente más extendidas de Catálogo y Tesoro, son las que se exponen a continuación:

1. Un catálogo de fenómenos (*feature catalogue*) define los tipos de elementos (*features*), sus operaciones, atributos y asociaciones representadas en los datos geográficos. Estos son indispensables para convertir datos en información utilizable (ISO, 2005). En la práctica este tipo de catálogos poseen importantes limitaciones, tales como la ausencia de cualquier tipo de estructuración y la de relación entre elementos de manera explícita. Lo único que puede encontrarse, en ocasiones, es una jerarquía entre clases de fenómenos, determinada por los códigos asociados a las mismas.

2. Tesauros, conforme a la International Standard Organization (ISO), es un vocabulario de un lenguaje de indexación controlado (conjunto controlado de términos extraídos del lenguaje natural y utilizados para representar, de forma breve, los temas de los documentos) y organizado formalmente con objeto de hacer explícitas las relaciones, a priori, entre conceptos (por ejemplo “más genérico” o “más específico que”) (ISO, 1985 – 1986).

La construcción de tesauros supone una considerable mejora en la estructuración de la información respecto a los catálogos de fenómenos. Esto es consecuencia de la desaparición de la imprecisión y ambigüedad en el uso del lenguaje (motivada por la existencia de sinónimos y polisemias) y del establecimiento de relaciones (ej.: “Término Genérico”, “Término Específico”, “Use”, etc.) entre los conceptos.

En resumen, estos problemas de heterogeneidad, escala, ambigüedad y estructuración reflejan las dificultades para alcanzar la interoperabilidad semántica en el contexto de la IG y, en consecuencia, las dificultades en las tareas de consulta, recuperación, explotación, actualización y visualización de la información geo-espacial. Todo agravado por los usuarios, que requieren eficiencia y sencillez.

UNA BREVE INMERSIÓN EN EL UNIVERSO ONTOLÓGICO

El uso de la Ingeniería Ontológica (Gómez-Pérez et al., 2003) es un factor clave que puede contribuir a solucionar los problemas de la IG pre-sentados con anterioridad. A continuación se realiza una breve introducción a algunos de los conceptos claves del universo ontológico.

El origen del término Ontología procede del mundo de la filosofía, según la Real Academia Española², es “la parte de la metafísica que trata del ser en general y de sus propiedades transcendentales, o propiedades que traspasan los límites de lo meramente experimental”. Este concepto ha sido adoptado por la informática, especí-

² <http://www.rae.es/rae.html>

ficamente en el dominio de la Inteligencia Artificial. Su adopción ha dado origen a una gran variedad de definiciones de este “nuevo” concepto, producto de los puntos de vista de diversos autores y, fundamentalmente, de las diferentes formas de construir y utilizar las ontologías como sistemas informáticos.

Una de las definiciones más divulgadas es la aportada por Gruber (1993). Afirma que una ontología constituye una especificación explícita y formal de una conceptualización compartida. Esta definición tiene una serie de conceptos claves que ayudan a comprenderla. Así, la “conceptualización” se entiende un modelo abstracto de la realidad, de tal manera, que mediante ésta se identifican los conceptos relevantes de un área. Por “explícita” se entiende que todos sus componentes deben estar definidos explícitamente. Respecto a “formal”, se refiere al hecho de que la ontología debe ser entendible por las máquinas. Por último, “compartida” refleja el hecho de que una ontología debe capturar conocimiento consensuado/aceptado por un grupo o comunidad de expertos, esto es, no debe ser privado o algo individual (Studer et al., 1998).

Desde la óptica de la IG, esta definición nos hace entender que las ontologías no están formadas únicamente por meros conceptos con una cierta organización, lo que no distaría de las formas más habituales de organización de la IG (catálogos de fenómenos, diccionarios de datos y/o tesauros), sino que también se van a definir relaciones, atributos, reglas y axiomas entre conceptos que enriquecen y contribuyen, entre otros aspectos, a formalizar el vocabulario y conocimiento del área, dejando a un lado el simple almacenamiento realizado sobre la parte más específica de la información, es decir, los datos.

Por tanto, las ontologías van a ayudar al mundo geográfico a definir los significados de los fenómenos contenidos en los geodatos, pudiendo proporcionar la base del entendimiento en el dominio de la IG. Aunque a menudo desarrollar una ontología de un dominio no es la meta en sí (sólo es un proceso de definición de un conjunto de datos y sus estructuras para que otros programas los usen), algunas de las principales razones que pueden conducir a la construcción de una ontología, son (Noy et al., 2001);

- Compartir el entendimiento común sobre un área de conocimiento entre personas y máquinas.
- Permitir la reutilización de conocimientos de un dominio o área de conocimiento.
- Permitir cambiar las especificaciones de conocimiento de un dominio si se producen cambios en el mismo. Además, las especificaciones explícitas del dominio de conocimiento son útiles para nuevos usuarios que deben aprender el significado de los términos del área.
- Analizar el conocimiento de un dominio, una vez realizada una especificación completa de los términos que componen al dominio. El análisis formal de los términos es extremadamente valioso al intentar reutilizar ontologías existentes y pretender extenderlas.

En definitiva, todo esto conlleva un cambio de perspectiva en los procesos de búsqueda, ya que se pasa de estar centrado únicamente en los aspectos sintácticos, a prestar atención a los significantes de los conceptos, es decir, al conocimiento implícito de los dominios. Además, de esta sección se pueden extraer varias conclusiones: por un lado, en las ontologías el conocimiento se especifica a través de conceptos, es decir, están formadas por conjuntos de conceptos que dan como resultado una forma de ver la realidad geográfica, común y compartida, acorde con cierta perspectiva ante un dominio de conocimiento. Por otro lado, el hecho de que la posibilidad de formalizar entre los conceptos relaciones, reglas de inferencia, axiomas, etc. contribuye a enriquecer el conocimiento del dominio en cuestión. Por último, hay que destacar, que esas conceptualizaciones formalizadas permiten la comunicación entre expertos y sistemas informáticos, consecuencia directa de que la información no sólo es entendible por todos los usuarios, como sucedía hasta este momento, sino que también es “comprendida” por las máquinas, lo que repercutirá en una constante reutilización del conocimiento. Por tanto, desde la óptica geoespacial, la construcción de ontologías dará origen a una importante mejora en la representación de la IG, repercutiendo de forma directa en los sistemas de recuperación, consulta y análisis de la misma.

INTERRELACIÓN ENTRE IG Y ONTOLOGÍAS: UNA NECESIDAD DERIVADA DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

El territorio se transforma y se adapta a nuevas necesidades y roles, a los que no son ajenos los fenómenos que conlleva el nuevo paradigma de la Sociedad de la Información. Gestionar la complejidad de dicha transfor-

mación requiere Información Global (Guimet, 2003) común y compartida. Este hecho motiva que los recursos de información disponibles sobre el territorio sufran un crecimiento progresivo, aunque las dificultades de acceso a la información impiden una visión homogénea por parte de los diferentes actores presentes en el territorio.

Tal y como se mencionó con anterioridad, en la actualidad, los servicios Web de los diferentes Sistemas de Información Geográfica (SIG) e Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEs) disponibles se limitan a una mera integración de información a modo de superposición de capas con gran diversidad temática, en ocasiones, provenientes de diferentes productores. Este hecho, pone de manifiesto dos realidades; por un lado, la calidad y exactitud de la IG en cuanto a superposición geométrica y, por otro, contenidos (conceptos) y estructuras (organización de la información) heterogéneas. Estas situaciones son producto de la preocupación por la exactitud posicional de la información y de los diferentes puntos de vista (diferentes vocabularios, formas de organización y modelos), intereses y necesidades con los que cada comunidad lleva a cabo el desarrollo de sus datos espaciales. Por tanto, de esto se deduce que, junto a las dificultades de visión homogénea de la IG, hay una importante carencia respecto a la armonización semántica de los geodatos entre los diferentes productores, a pesar de que aumenta la necesidad de compartir, intercambiar y utilizar la IG con diferentes propósitos.

Todos estos factores generan dificultades en las tareas de consulta, recuperación, explotación, actualización y visualización de la geo-información, ante las que todo usuario demanda sencillez, eficacia y seguridad. Desde la óptica de la Ingeniería Ontológica se proponen diferentes soluciones de forma genérica, como una vía para alcanzar la armonización semántica de la IG y, por tanto, solventar los diferentes problemas expuestos con anterioridad.

Heterogeneidad de vocabularios y Bases de Datos

Las limitaciones estructurales, comentadas anteriormente, y la utilización de diversos vocabularios para describir la información presente en los servicios Web de SIG e IDEs evidencian diversos problemas que se manifiestan al preguntar e interpretar resultados producidos por la búsqueda sobre diferentes catálogos distribuidos (Bernad et al., 2003). Un ejemplo de la disparidad de vocabularios utilizados es el nombre de las diferentes capas que aparecen en los diferentes visualizadores de las IDEs y SIGs, donde es habitual encontrar para cada servicio referido a una misma temática diferente nomenclatura, como se pueden contemplar en las figuras 1, 2 y 3.

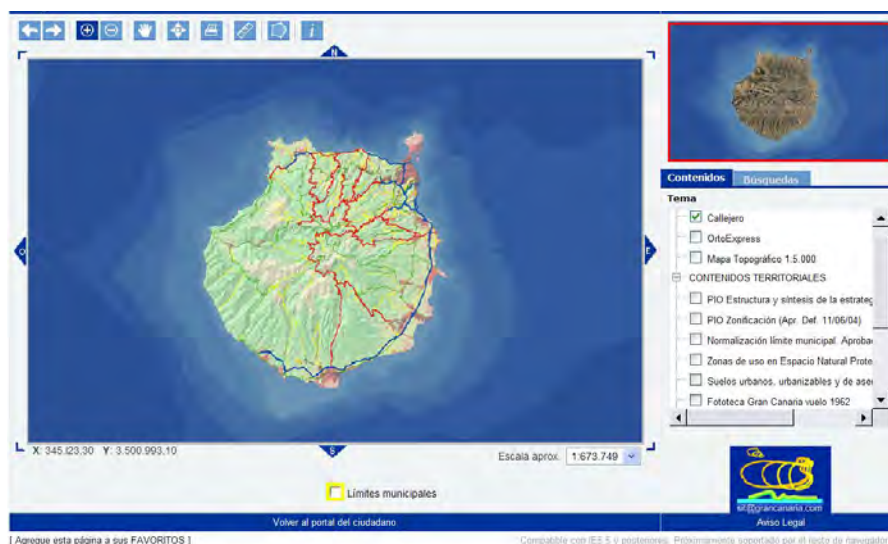


Figura 1. Visualizador del Sistema de Información Territorial del Cabildo de Gran Canaria³

³ <http://grancanaria.grafcan.com/>

Esto refleja la necesidad de un cambio en dichas herramientas (SIG e IDEs) para dejar de ser utilizadas como “simples” almacenes de datos con representación espacial (de escasa utilización como instrumentos en la planificación territorial, toma de decisiones y/o gestión de recursos), para dar un salto cualitativo en funcionalidad y posibilidades. Para esto, es necesario desarrollar ontologías de dominio que cubran el conocimiento de los diferentes campos de la IG, ya que estas (Mizoguchi et al., 1995; Van heijst et al., 1997) van a proporcionar vocabularios sobre los conceptos pertenecientes a un dominio y sus relaciones. Además, las ontologías considerarán las actividades de ese dominio y las teorías y principios elementales que gobiernan el dominio. Así pues, con la definición de modelos ontológicos globales, con información a diferentes escalas, se incrementaría la accesibilidad y se darían los pasos oportunos para una estructura común de la información geo-espacial, con lo que la información compartida por todos los actores del territorio originaría flujos de información y de conocimiento.

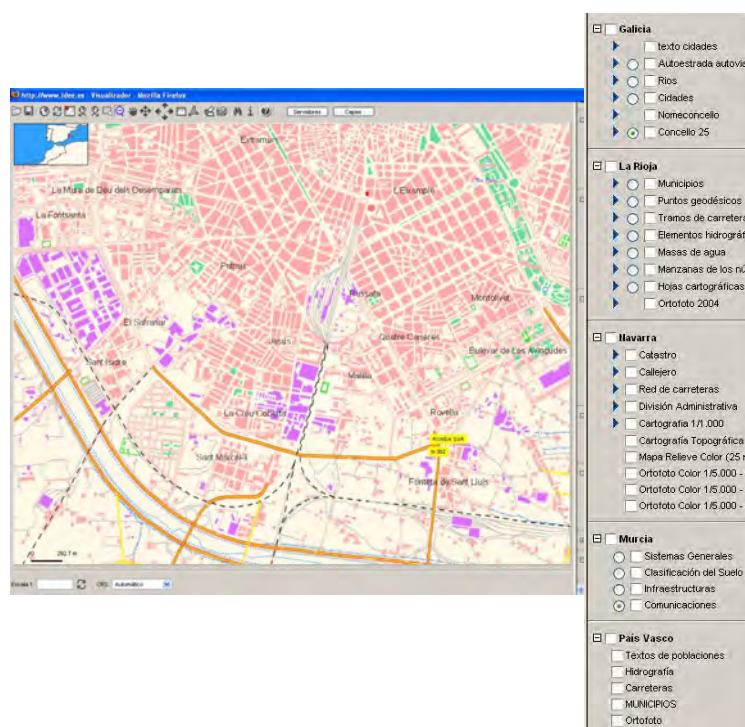


Figura 2. Visualizador de la IDEE junto a un extracto de la nomenclatura de sus diferentes capas⁴

Este hecho supone un reto importante, ya que desde la perspectiva ontológica, hasta el momento, no hay ninguna ontología que recoja las características y peculiaridades del conjunto de fenómenos geográficos del territorio español, aunque comienzan a aparecer algunas ontologías con estas características, tales como *hydrOntology* (Vilches et al., 2007b), una ontología global de fenómenos hidrográficos, y *PhenomenOntology* (Gómez-Pérez et al., 2008), una ontología global para los diferentes catálogos de información que gestionan los geodatos del Instituto Geográfico Nacional.

En lo que respecta a las bases de datos, la Ingeniería Ontológica y sus técnicas relacionadas permiten el establecimiento de correspondencias (*mappings*) entre bases de datos y ontologías, con el objetivo de llevar a cabo una integración de información de diferentes fuentes (Gómez-Pérez et al., 2008), lo que contribuye a la creación de un marco armonizador de la IG y a conseguir independencia de los modelos y, en cierta medida, de la información existente en dichas fuentes. Por otro lado, estas técnicas también pueden ser utilizadas para describir semejanzas entre fenómenos de cualquier tipo (por ejemplo: “Río”, “Riu”, “River”, “Rivière” y “Fleuve”).

⁴ <http://www.idee.es>

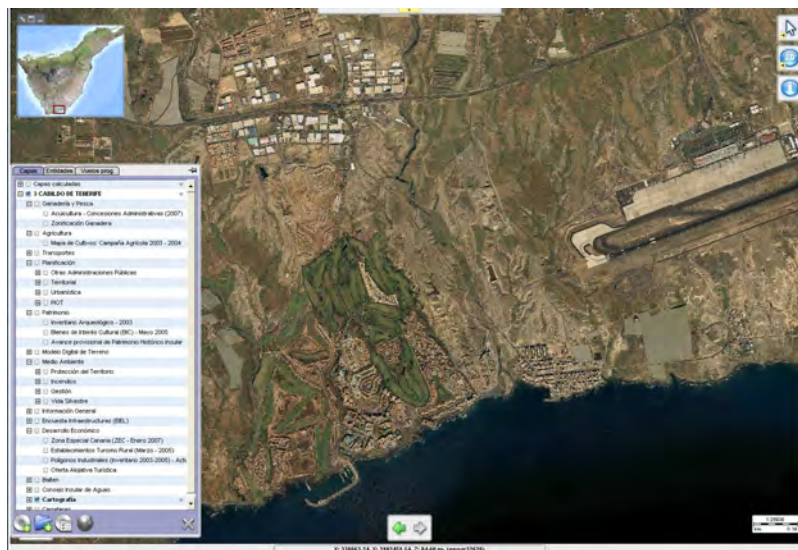


Figura 3. Visualizador TeIDE⁵

Ambigüedad del lenguaje, diferencias semánticas y variedad idiomática

La formalización de conceptos mediante lógica descriptiva (Description Logic), y el proceso de implementación en el lenguaje estándar de facto del World Wide Web Consortium (W3C)⁶, Ontology Web Language (OWL)⁷, eliminan los problemas de ambigüedad propia del lenguaje natural y las diferencias semánticas entre conceptos. Además, junto a la posibilidad de formalización explícita de los diferentes conceptos, relaciones y atributos del dominio geográfico, también se pueden añadir conceptos relacionados (sinónimos) o alternativos (multilingüedad) o la definición en lenguaje natural, similar a las definiciones que aparecen en cualquier diccionario del área, de los diferentes elementos que componen la ontología.

Formas de estructuración

Gran parte de esta problemática es derivada del empleo de las formas más comunes de estructuración de fenómenos geográficos, tales como catálogos de fenómenos y tesauros. Estos son gestionados por la mayoría de los sistemas de información en el entorno geográfico, ya sean SIG Web o IDEs, pero no solucionan las dificultades comentadas con anterioridad, consecuencia de la pobre y rudimentaria modelización de la IG, escasa formalización semántica y el limitado o nulo número de relaciones entre conceptos.

Estas formas de estructuración han sido utilizadas, tradicionalmente, como útiles herramientas para proporcionar vocabularios controlados y organizarlos pseudo-formalmente. Dichas formas no son suficientes en el contexto tecnológico actual, consecuencia de que las ontologías ofrecen la posibilidad de crear descripciones ricas en conocimiento, mientras que las formas de estructuración mencionadas con anterioridad sólo proporcionan parte de las funcionalidades requeridas por este nuevo escenario tecnológico (Wielinga, 2001; Vilches-Blázquez et al., 2007a).

Otras ventajas que aporta el desarrollo y uso de ontologías como herramienta se circunscriben a la posibilidad de la reutilización de conocimientos (esto permite el aprovechamiento de ontologías realizadas sobre cualquier área de la IG, consecuencia de que el desarrollo de ontologías refleja formas concretas de ver el mundo) y a la comprobación y mantenimiento de la integridad de las bases de datos geo-espaciales.

⁵ <http://atlastenerife.es/TeIDE2/Visor.do>

⁶ <http://www.w3.org/>

⁷ <http://www.w3.org/2004/OWL/>

UN CASO DE USO: *hydrOntology* O HACIA UNA ARMONIZACIÓN SEMÁNTICA DE LA INFORMACIÓN HIDROGRÁFICA

Desde el punto de vista de la aplicación de los aspectos teórico-metodológicos expuestos con anterioridad el desarrollo de *hydrOntology*, ontología global de fenómenos hidrográficos, pretende establecer un marco semántico armonizador y de uso por parte de todas las organizaciones productoras de información geoespacial. El objetivo es proporcionar los pasos necesarios para obtener una mejor organización y gestión de la información del dominio hidrográfico, de tal forma que contribuya a facilitar la toma de decisión en planificación territorial, mediante la optimización de los procesos de búsqueda y recuperación de la IG soportada por la Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE⁸) y el SIGNA⁹ (Sistema de Información Geográfica Nacional). Algunos detalles de esta ontología tales como criterios de modelado, características del proceso de modelado y las fuentes de información utilizadas como referencia son descritos con mayor profundidad en (Vilches, 2006; 2007b y 2007c).

Con *hydrOntology* se soluciona la problemática concerniente a la heterogeneidad de vocabularios dentro del dominio hidrográfico, ya que contempla vocabulario sobre fenómenos hidrográficos (más de 150 conceptos diferentes) tomado de más de 20 fuentes, provenientes de diferentes productores e instituciones nacionales, cuyo objeto de trabajo es la Información Geográfica, así como diferentes fuentes de relevancia internacional en esta temática. El modelado de esta ontología se llevó a cabo mediante la herramienta de edición Protégé¹⁰, una visión genérica puede apreciarse en la figura 3, que posibilita el proceso de formalización en lógica descriptiva (*Description Logic*) y la implementación en OWL (*Ontology Web Language*), evitando así los problemas relacionados con la ambigüedad del lenguaje, las diferencias semánticas y variedad idiomática.

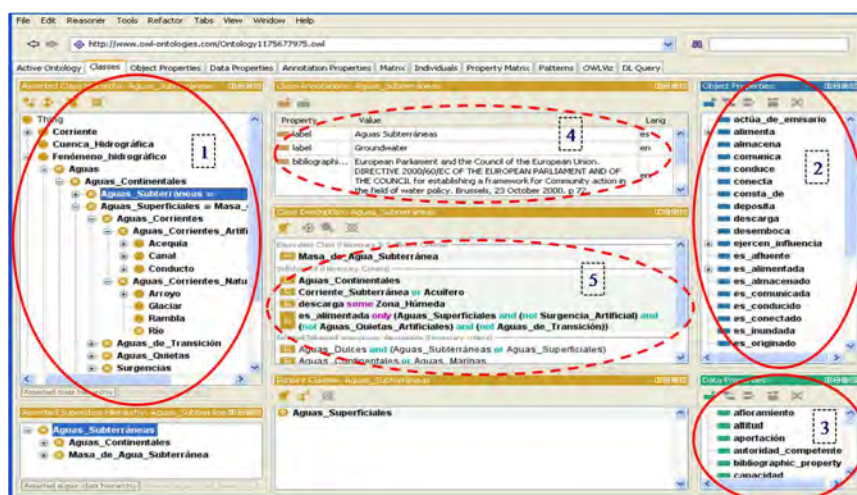


Figura 3. Entorno de Protégé y visualización general de *hydrOntology*

Esta herramienta (*Protégé*) tiene diferentes secciones o *frameworks*, como puede apreciarse en la figura anterior. En la sección 1 se recogen los diferentes conceptos que cubren al dominio de conocimiento, en este caso, los referidos a hidrografía. Estos conceptos son ordenados de forma taxonómica, desde el punto de vista general, están divididos en dos niveles: un nivel superior que contiene los fenómenos más abstractos y generales de la ontología (por ejemplo: “Fenómeno Hidrográfico”, “Aguas Continentales”, “Aguas Marinas”, etc.) y, en el nivel inferior, se recogen un conjunto de fenómenos hidrográficos universalmente conocidos (por ejemplo, Río, Ría, Arroyo, Rambla, etc.)

Además, varios fenómenos hidrográficos son considerados para poder relacionarlos con otras áreas de conocimiento, tales como, “aguas territoriales”, “zona contigua”, “alta mar”, etc. conceptos referidos al marco

⁸ <http://www.idee.es/>

⁹ <http://signa.ign.es/website/IGN0212/viewer.htm>

¹⁰ <http://protege.stanford.edu/>

legal (derecho internacional); o el dominio geológico (hidrogeología) “corrientes subterráneas”, “acuíferos”, etc., o la ingeniería civil urbana (COST UCE Action C21, Towntology project) “tubería”, “embalse”, “canal”, etc., pueden ser considerados como algunos ejemplos. Este hecho enriquece a esta ontología, ya que con ello se proporciona un crecimiento gradual en conocimiento y, por tanto, beneficios añadidos para los usuarios de IG en la Web.

En la sección 2 y 3 de la mencionada figura aparecen tipos de relaciones (*Object Properties*) y atributos (*Data Properties*) respectivamente. Estos elementos sirven para explicitar las diferentes relaciones que se manifiestan entre los diferentes fenómenos presentes en la realidad geográfica. Por otro lado, con el conjunto de atributos se consigue enriquecer y caracterizar al conjunto de conceptos reflejados en dicha ontología.

En la sección 4 se encuentra la documentación de los diferentes conceptos reflejados en la sección 1 de la figura 3. Entre dicha documentación aparecen diferentes elementos tales como definiciones extraídas de diferentes fuentes, sinónimos y nombres alternativos, procedencia de los conceptos presentes en la sección 1 y el componente multilingüe de cada uno de los elementos mencionados con anterioridad.

Por último, en la sección 5 aparecen las definiciones de los diferentes axiomas que formalizan el conocimiento del dominio hidrográfico mediante lógica descriptiva (*Description Logic*). Esto elimina los problemas de ambigüedad propia del lenguaje natural y las diferencias semánticas entre conceptos.

Por otro lado, una vez modelado el dominio y formalizado e implementado a través de la mencionada herramienta de edición, el establecimiento de correspondencias (*mappings*) entre las diferentes bases de datos que soportan las fuentes consideradas en el proceso de modelado y *hydrOntology* facilitan el proceso de integración de información, como puede apreciarse en la figura 4. Además, se gestiona de una mejor manera la componente multilingüe de la IG, ya que mediante el establecimiento de *mappings* entre los diferentes fenómenos estos dejan de considerarse fenómenos aislados y diferentes, como sucede con la gestión actual de dicha información, para ser fenómenos únicos con idiomas distintos. Este hecho contribuye al establecimiento de un marco armonizador de la IG, ya que con este trabajo se llevaría a cabo una gestión integral de los recursos hidrográficos presentes en diferentes y distribuidas bases de datos, es decir, un entendimiento global del conocimiento geográfico y, concretamente, de los recursos correspondientes a la información hidrográfica.

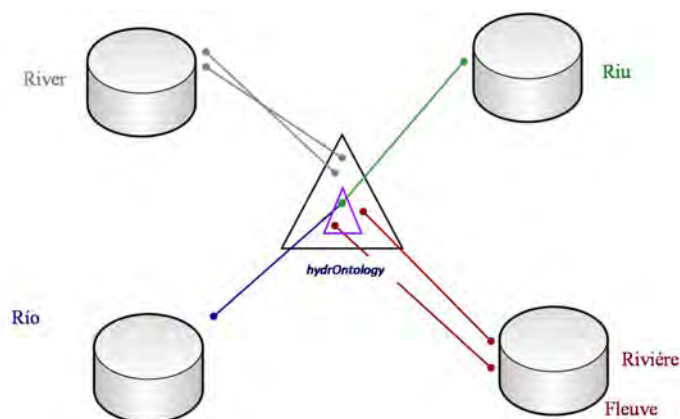


Figura 4. Establecimiento de correspondencias (*mappings*) entre *hydrOntology* y diferentes bases de datos con componentes multilingües

Desde la óptica de la geografía como Ciencia, ante cualquier problema con una fuerte componente territorial, esta se ha encargado de exportar ideas, conceptos y técnicas a otras profesiones. Ahora, y dada la relevancia de las TIGs y su necesaria relación con la Ingeniería Ontológica, parece oportuno aprovechar esta sinergia e incorporarlas como elementos fundamentales para la toma de decisiones, ya que permiten realizar una labor de síntesis precisa con la finalidad de obtener resultados satisfactorios y racionales en la ordenación territorial de los usos y las actividades económicas, compatibilizándolas con la conservación ambiental y la protección de los recursos naturales (Prieto Cerdán, 2008). Esta situación se presenta como una importante vía para alcanzar la

interoperabilidad semántica entre los diferentes productores de IG y, más concretamente para el caso de uso reflejado con anterioridad, entre las diferentes Confederaciones Hidrográficas que gestionan las diferentes cuencas. Con esto la información sería creada y gestionada por cada productor pero con un entendimiento global común y compartido de la información o lo que es lo mismo, una interoperabilidad semántica de la geoinformación. Este hecho contribuiría a minimizar los aspectos de interrelación entre diferentes cuencas en aspectos como gestión en tiempos de sequía, necesidades de transvases o fuentes de riesgos con incidencia en actividades económicas o personas dada la interoperabilidad de recursos e información.

CONCLUSIONES

Se han descrito muchas de las problemáticas que presenta la gestión de IG en un escenario donde se está incrementando de forma sustancial tanto la producción de datos como su diseminación e intercambio. Iniciativas legales como la Directiva INSPIRE (Commission of the European Communities, 2007) o el recientemente aprobado Sistema Cartográfico Nacional¹¹ (BOE, 2007) están propiciando la publicación, al menos por parte de las Administraciones Públicas, de IG. Actualmente, como se ha visto, en muchos de los geoportales abiertos ya es posible superponer capas de información que describen el mismo fenómeno pero que han sido producidos de forma independiente y descoordinada. El resultado añade aún más complejidad, si cabe, a la existente.

Por ello, se ha reflejado el enfoque ontológico y su aplicación a la IG. Las ontologías constituyen el complemento ideal para los SIG Web y las IDEs, más aún una vez que éstos comienzan a extenderse, concediendo acceso público y abierto a la geo-información mediante múltiples servidores y servicios y, en la medida en que pueden contribuir de forma efectiva y práctica, a mejorar la gestión de la información y, por tanto, ayudar en los procesos de toma de decisiones en la planificación y gestión territorial.

Hasta el momento los esfuerzos en los sistemas que soportan los SIG e IDEs se han centrado en la implementación de estándares que posibilitan la comunicación entre máquinas, resolviendo los problemas de “*syntaxis*” y alcanzando lo que se denomina interoperabilidad sintáctica. El reto actual es avanzar en la comunicación del conocimiento (conceptos), es decir, de la “semántica” de la realidad geográfica. El avance en esta línea, es decir, en la interrelación entre Ingeniería Ontológica e IG puede suponer un avance trascendental en las posibilidades de utilización de las principales herramientas (SIG e IDEs) como instrumentos de auténtico uso en los procesos de planificación y gestión del territorio.

En definitiva, las ontologías van a aportar muchas utilidades al mundo de la IG, entre las que destacan, según Torres (2003), la mejora en la comunicación, habida cuenta de su dedicación a reducir la confusión terminológica y conceptual en el ámbito del dominio geográfico, y la interoperabilidad semántica, ya que las ontologías potenciarán el intercambio de datos geográficos gracias a la semántica que se encuentra en ellas.

AGRADECIMIENTOS

Esta comunicación se enmarca en los trabajos de investigación realizados por el autor, financiados parcialmente por el proyecto del Plan Nacional "GeoBuddies" (TSI2007-65677C02) y el Convenio Bilateral UPM-IGN 2007-2008.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bernad, L.; Einspanier, U.; Haubrock, S.; Hübner, S.; Kuhn, W.; Lessing, R.; Lutz, M. y Visser, U. (2003): Ontologies for intelligent search and semantic translation. En: *Spatial Data Infrastructures, Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation* (6).

¹¹ <http://www.boe.es>

- Bishr Y (1998): Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability. *International Journal of Geographical Information Science*, 12(4): 299–314.
- Boletín Oficial del Estado (BOE) (2007): *Real Decreto 1545/2007, de 23 de noviembre, por el que se regula el Sistema Cartográfico Nacional*.
- Commission of the European Communities (2007): *Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de marzo de 2007, por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea (INSPIRE)*.
- European Parliament and the Council of the European Union (2000): *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council for establishing a framework for Community action in the field of water policy*. Brussels, 72 pp.
- Gómez-Pérez, A.; Fernández-López, M. y Corcho, O. (2003): *Ontological Engineering: with examples from the areas of knowledge management, e-commerce and the Semantic Web*. Springer-Verlag, London.
- Gómez-Pérez A., Ramos J., Rodríguez-Pascual A. y Vilches-Blázquez L.M. (2008): The IGN-Case: Integration through a Hidden Ontology. *Spatial Data Handling - SDH'08*. Montpellier, France (En prensa).
- Greenwood, J. y Hart, G. (2003): Sharing Feature Based Geographic Information - A Data Model Perspective. En *7th Int'l Conference on GeoComputation*. United Kingdom.
- Guimet, J.: (2003): Internet, información y territorio. En *Proceedings del 1er Congreso Internacional sobre Territorio y Ciudad. La metrópolis presente y futura*. Barcelona.
- International Standards Organization (1985): *ISO 5964:1985 Documentation - Guidelines for the establishment and development of multilingual thesauri*.
- International Standards Organization (1986): *ISO 2788:1986 Guidelines for the establishment and development of monolingual thesauri*.
- International Standards Organization (2002): *ISO/TC-211 & OGC, Geographic information Services Draft ISO/DIS 19119*. OpenGis Service Architecture. vs.4.3. Draft Version, ISO & OGC.
- International Standards Organization (2005): *ISO 19110 Geographic information - Methodology for feature cataloguing*.
- McKee, L. (2000): Who wants a GDI? En: *Geospatial Data Infrastructure – Concepts, cases and good practice*. New York, Oxford University Press, pp: 13-24.
- Mizoguchi, R., Vanwelkenhuysen, J. y Ikeda, M. (1995): Task ontology of reuse of problem solving knowledge. En: *Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building & Knowledge Sharing*, pp: 46-59.
- Nerbert, D. (2001): *Developing Spatial Data Infrastructures: The SDI Cookbook, version 1.1*, Global Spatial Data Infrastructure, Technical Committee.
- Noy, N. F. y McGuinness, D. L. (2001): *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*. Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880.

- OGC (2003): *OpenGIS Reference Model, Version 0.1.2*, OGC Inc. Wayland, MA, USA.
- Prieto Cerdán, A. (2008): La utilización de los SIGs y la Teledetección por el profesional: Experiencias y expectativas de futuro. En: Camacho, M.T., Cañete, J.A., Chica, M. y Lara, J.J. (Eds.): *Información espacial y nuevas tendencias en las Tecnologías de la Información Geográfica*. Universidad de Granada. Granada.
- Studer, Benjamins, Fensel (1998): Knowledge Engineering: Principles and Methods. *Data and Knowledge Engineering*. 25: 161-197.
- Gruber. T. (1993): A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowledge Acquisition*, 5 (2): 199-220.
- Torres Rodríguez, N. (2003): *Imágenes en la web semántica: estándares, aplicaciones y organización de sitios en la red*. Universidad Carlos III de Madrid. (Tesina).
- Van heijst, G., Schreiber, A. y Wielinga, B. (1997): Using explicit ontologies in KBS development. *International Journal of Human-Computer Studies*, 46 (2/3): 183-292.
- Vilches Blázquez, L.M., Rodríguez Pascual A.F. y Bernabé Poveda, M.A. (2006): Ingeniería ontológica: El camino hacia la mejora del acceso a la información geográfica en el entorno web. En: Granell, Carlos y Gould, Michael (Eds.), *Avances en las Infraestructuras de Datos Espaciales*. Coll.: Treballs d'Informàtica i Tecnologia, 26. Universitat Jaume I. Castellón. Pp.: 95 – 103.
- Vilches-Blázquez, L.M., Martins, B., Wyttenbach, A., Bernabé, M.A., Álvarez, M., Luzio, J. y Borbinha, J. (2007a): Geographical and historical thesauri: The state of the art. *DIGMAP Deliverable D2.1*.
- Vilches Blázquez, L.M., Bernabé Poveda, M.A., Suárez Figueroa, M.C., Gómez-Pérez, A. y Rodríguez Pascual, A.F. (2007b): Townontology & hydrOntology: Relationship between Urban and Hydrographic Features in the Geographic Information Domain. En: Teller, J.; Roussey, C. y Lee, J. (Eds.), *Ontologies for Urban Development*. Springer-Verlag,.
- Vilches Blázquez, L.M., Cañete Pérez, J.A., Corcho, O., Bernabé Poveda, M.A. y Rodríguez Pascual, A.F. (2007c): Pertinencia de Aplicación de la Ingeniería Ontológica a la Planificación Hidráulica del Territorio. *V Congreso Internacional de Ordenación y Territorio (CIOT)*. Málaga.
- Wielinga, B. J.; Schreiber, A. TH.; Wielemaker, J. y Sandberg, J. A. C. (2001): From thesaurus to ontology. International Conference on Knowledge Capture. En: *Proceedings of the 1st international conference on Knowledge capture*. Victoria, British Columbia, Canada. Pp.: 194 - 201.

Brotos, L.; Pla, M.; Villero, D.; Ruíz-Olmo, J. y Camps, D (2008): CARTOBIO: Cartografía de especies de conservación prioritaria de Catalunya. Aplicaciones de la modelización del hábitat. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 207-214. ISBN: 978-84-96971-53-0.

CARTOBIO: CARTOGRAFÍA DE ESPECIES DE CONSERVACIÓN PRIORITARIA DE CATALUNYA. APLICACIONES DE LA MODELIZACIÓN DEL HÁBITAT

Brotos, L.¹; Pla, M.¹; Villero, D.¹; Ruíz-Olmo, J.² y Camps, D.²

(1) Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC). Pujada del Seminari s/n. 25280 SOLSONA (Lleida), magda.pla@ctfc.cat

(2) Servei de Protecció de Fauna, Flora y Animals de Companyia. Departament de Medi Ambient y Habitatge, Generalitat de Catalunya). Dr. Roux, 80 08017 Barcelona.

RESUMEN

El proyecto CARTOBIO surge de la necesidad del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de Catalunya de disponer de cartografía de las especies con un valor de conservación prioritario en su ámbito de responsabilidad. El objetivo principal del proyecto es recopilar la información existente sobre la presencia de estas especies y obtener cartografía continua de alta resolución para dar soporte a las tareas habituales de planificación y gestión del territorio en las que se requiera información espacial sobre su distribución.

A partir de información de origen diverso sobre la localización de las especies, de variables ambientales generadas a partir de cartografía de referencia y del conocimiento experto, se aplican distintas técnicas de modelización del hábitat. El producto final es un mapa cuantitativo de adecuación del hábitat con sus metadatos completos y una ficha adjunta donde se describe el proceso de modelización. En dicha ficha se ofrece la información necesaria para facilitar al gestor la interpretación de los modelos, así como sus limitaciones y perspectivas de mejora futuras. A lo largo del primer año del proyecto se han obtenido mapas de distribución de diferentes especies de vertebrados. En la presente comunicación se discuten las implicaciones de la disponibilidad de datos faunísticos derivados de procesos de modelización en diferentes procesos de decisión relacionados con el patrimonio natural.

Palabras Clave: modelización, adecuación del hábitat, SIG, conservación, Catalunya

ABSTRACT

The project CARTOBIO arises from the need of the Department of Environment and Housing of Catalonia to generate thematic cartography of the species with a priority conservation value. The main objective of the project is to compile the existing information on these species and to obtain continuous, high resolution cartography to offer support and guidance to territory planning and management tasks for which spatial distribution information is required.

From information of diverse origin and quality, environmental variables generated from different sources and expert knowledge, we apply different techniques of habitat modelling. The final product is a quantitative map of habitat suitability with its metadata and associated documentation including complementary information on the modelling process. This complementary information facilitates the policy maker the understanding and interpretation of the models, and thus their limitations and perspectives. During, the first year of the project we have generated distribution maps of different species of vertebrates. In the present communication we discuss the implications of generating spatial data bases based on predictive modelling in guidance decision making process and how it can contribute to the management of natural patrimony.

Key Words: modelling, habitat suitability, GIS, conservation, Catalunya.

ANTECEDENTES

La recopilación y homogeneización de información sobre la distribución geográfica de especies prioritarias es un elemento clave al mismo tiempo de plantear las estrategias para su conservación y gestión adecuadas (Guisan & Zimmermann, 2000; Vaughan & Ormerod, 2005; Rodríguez et al., 2007).

Un ejemplo de la importancia de la estructuración de la información cartográfica en los procesos de planificación y gestión de la biodiversidad en Catalunya es la de la Cartografía de Especies de Conservación Prioritaria de Catalunya (CECP), promovida por el Departamento de Medio Ambiente y Vivienda, pretende recopilar y homogeneizar la información existente sobre la distribución de determinadas especies de fauna y flora en este ámbito territorial. Este proyecto es fruto de la colaboración entre el Servicio de Planificación y Gestión del Entorno Natural y el Servicio de Protección de la Fauna, Flora y Animales de Compañía.

Tradicionalmente, la cartografía de la biodiversidad ha consistido principalmente en la delimitación de áreas de distribución o en la representación de citaciones sobre una malla UTM (10 Km o 1 Km). A efectos prácticos, esto se ha traducido en una gran heterogeneidad cartográfica, donde la casuística de cada especie ha condicionado la obtención de una cartografía carente de una evaluación objetiva de su fiabilidad y, en especial, que ofrece dificultades para integrar la información de diferentes especies, necesaria para afrontar los retos de la gestión y conservación de la biodiversidad con una perspectiva territorial amplia (Wiens & Donoghue, 2004; Graham & Hijmans, 2006).

En este contexto, la generalización de los sistemas de información geográfica y el desarrollo de métodos estadísticos para modelizar la distribución de las especies ha supuesto un gran avance para la cartografía de la biodiversidad. Los métodos de modelización permiten extrapolar las relaciones existentes entre observaciones realizadas al campo (datos de presencia, presencia/ausencia o abundancia) y variables ambientales a todo el ámbito geográfico estudiado, el que permite identificar las zonas más idóneas para la especie y, por lo tanto, donde la probabilidad que la especie sea (aunque no se haya detectado) más elevada. Este proceso es el que se nombra modelización del hábitat (Guisan & Zimmermann, 2000; Pulliam, 2000; Peterson, 2001).

Los modelos de hábitat tienen como objetivo estimar el hábitat utilizado por una especie a partir de su caracterización mediante variables ambientales que permiten su representación espacial. Existen ejemplos del uso de los modelos predictivos como herramienta de soporte para la conservación de la biodiversidad y la gestión y planificación del medio natural en Australia desde aproximadamente el año 2000 (Pearce & Ferrier, 2001, <http://www.csiro.au/people/Simon.Ferrier.html>); y en USA también utilizan la modelización espacial para generar mapas de la dinámica de los recursos biológicos de cara a hacer frente a las amenazas de las especies invasoras (Schnase, *et al.*, 2002., <http://bp.gsfc.nasa.gov/index.html>).

En nuestro país existen ya algunos ejemplos de aplicación de modelos de hábitat a algunos componentes de la biodiversidad, sobresaliendo entre ellos los ejercicios de modelización realizados en el marco del Atlas de las Aves Nidificantes de Catalunya (Estrada *et al.*, 2004).

Otro ejemplo, en tal caso aplicado a la planificación territorial, es el Sistema de Información Territorial de la Red de Espacios Libres (SITxell), promovido por la Diputación de Barcelona con la finalidad de establecer una base cartográfica y alfanumérica, que ayude a estudiar, analizar, valorar y planificar los espacios libres (Castell *et al.*, 2003). El SITxell dispone de un módulo de fauna y conectividad, que promueve el desarrollo de cartografía de grupos faunísticos con la finalidad de evaluar el valor de conservación del territorio, y que, al mismo tiempo sirve de base para el análisis de la conectividad del territorio (MINUARTIA, 2003). En definitiva, la aplicación de estas metodologías en Catalunya se encuentra en una fase incipiente. Así pues, el presente proyecto pretende aprovechar la información existente y las metodologías de modelización de hábitat para obtener una cartografía de base de las especies de conservación prioritaria.

OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto CARTOBIO es dar respuesta a las necesidades del *Departament de Medi Ambient i Habitatge* en el campo de la cartografía específica para la conservación de especies amenazadas o de interés especial o para la resolución de conflictos específicos con la actividad humana. A lo largo del año 2007,

al tratarse del primero año del proyecto, además de la generación de cartografía de especies, se realizó un esfuerzo especial para el desarrollo conceptual y metodológico del proyecto. A lo largo del 2008, se han aplicado las bases metodológicas y conceptuales para continuar generando mapas de distribución de distintas especies de vertebrados y también de artrópodos, consolidando la metodología definida pero también adaptándola a las necesidades que se van planteando en función de los objetivos de cada una de las especies. Des del inicio del proyecto los principales objetivos planteados son:

- Caracterización y homogeneización de la información de base de las especies de especial interés para el *Departament de Medi Ambient i Habitatge*.
- Estructuración y desarrollo de una base de datos de variables ambientales del sistema de información geográfica articulado en el marco del CARTOBIO.
- Síntesis de los métodos de modelización de la distribución de las especies, dando especial atención a las estrategias para mejorar los resultados de la modelización en frente de las deficiencias en la información de algunas de las especies objetivo.
- Definición de los productos cartográficos resultantes: base de datos biológicos sobre las especies de interés, cartografía elaborada con sus metadatos completos y ficha descriptiva. Los productos resultantes, a parte de la los mapas de distribución deben tener la información necesaria para ayudar al gestor a entenderla y utilizarla correctamente.
- Generación distintos productos cartográficos de especies de vertebrados (mamíferos y reptiles) y artrópodos.

METODOLOGÍA

La presente propuesta se marca como hito la recopilación de las observaciones georeferenciadas y adecuadas al desarrollo de modelos de hábitat de alta resolución. Éstos datos deben servir para generar cartografía temática de las diferentes especies de especial interés de conservación en Catalunya a resoluciones de trabajo apropiadas por las tareas de gestión y planificación relacionadas con estas especie. Así, el proyecto CARTOBIO presenta tres ejes principales que se describen en los siguientes apartados.

Recopilación de datos apropiados para la modelitzación ambiental

El primero eje plantea el desarrollo de una estrategia de recopilación de datos georeferenciados apropiada a la modelización ambiental. Estos datos son de dos tipos principales, los datos faunísticos y los datos ambientales que servirán para estimar las distribuciones de las diferentes especies. Los datos faunísticos se recuperarán a partir de las diferentes fuentes de información existentes. Estas fuentes pueden ser de diferente tipología y van desde las base de datos contenidos en el marco del BIOCAT (principalmente convenientes para especies poco conocidas), hasta estudios específicos llevados a cabo por grupos de investigadores con el cuales se trataría de desarrollar trabajos de cooperación conjunta para posibilitar la utilización de los mejores datos disponibles para cada especie en las tareas de modelización.

Referente a la disponibilidad de datos ambientales, Catalunya ha generado una de las mejores bases digitales sobre información ambiental en un ámbito europeo. Esta disponibilidad permite el desarrollo de modelos de hábitat basados en los parámetros ambientales más importantes y a priori significativos para los diferentes grupos de interés de conservación en Catalunya. Estos datos incluyen imágenes provenientes de satélite, que solo de manera reciente han sido incorporadas, con un gran potencial, en estudios de carácter ecológico en Catalunya.

Estas variables ambientales se derivarán a partir de la información ambiental disponible en cada momento. En referencia a este tipo de información, hay que separar las bases a partir de las que se pueden derivar variables ambientales con relativa facilidad (información ambiental primaria, como la generada directamente a partir de modelos digitales de elevación, atlas climáticos o usos del suelo) de las que requieren tratamiento específico por

razones de su complejidad, resolución u origen (información ambientales secundarias como la derivada a partir de diferentes pasos intermedios a partir del mapa de hábitats de Catalunya o la proveniente de sensores remotos).

Generación de la cartografía sobre la distribución de especies de especial interés de conservación en Catalunya

El segundo eje del proyecto plantea la generación de cartografía temática sobre la distribución de especies de especial interés de conservación en Catalunya. Esta cartografía está basada en la aplicación de diferentes metodologías de modelización del hábitat a partir de diferentes variables ambientales y espaciales. La generación de mapas específicos va estrictamente ligada a estimas cuantificadas de su capacidad predictiva y de su incertidumbre. A pesar de ser comúnmente ignorada, la información sobre esta capacidad predictiva se considera de importancia capital en el proceso de aplicación y utilización de la información ecológica generada en tareas de gestión y planificación territorial.

Así pues CARTOBIO ha procedido al desarrollo transversal de cartografía, por un lado, de carácter estático basada en la información disponible en el momento de su generación, en la que en etapas más avanzadas del proyecto, se plantea la actualización periódica de la cartografía a medida que los datos ambientales o faunísticos cambien de manera significativa. Por otro lado, también se ha desarrollado cartografía de carácter dinámico (el caso del análisis de la expansión del mosquito tigre en Catalunya), en la que se han generado distintos modelos a partir de información climática de distintos años y de la evolución de la información faunística de los distintos años desde que se detectaron las primeras presencias del mosquito. La aplicación de la metodología empleada en la generación de mapas temáticos debe ser también hipotéticamente utilizada en la generación de escenarios de cambio de distribución futuros creados a partir de diferentes situaciones de gestión o planificación figuradas o previstas.

En la mayoría de las especies modelizadas hasta el momento, la información faunística de base son datos de presencia, por este motivo la mayor parte de los modelos se han realizado mediante el método estadístico de la máxima entropía implementado en el programa MAXENT (Phillips *et al*, 2004 y 2006).

Ofrecer al gestor la información complementaria necesaria para el buen uso de los productos de la modelización

El tercer eje plantea la necesidad de ofrecer al gestor del territorio un producto completo, no solamente una cartografía de calidad de hábitat para cada especie si no también la información necesaria para entender éste producto y facilitar su buen uso. Así pues, para cada especie analizada en el marco del proyecto CARTOBIO, se ha procedido a la creación de un fichero MMZ de MiraMon (Pons, 2004) que incluye la cartografía generada en forma de raster continuo con sus metadatos completos, así como una ficha descriptiva de sus particularidades, interpretación general y limitaciones del proceso de modelización. No se puede interpretar ni utilizar un mapa elaborado en el marco del CARTOBIO correctamente sin tener en cuenta la información que contiene su ficha correspondiente.

El principal objetivo de la ficha descriptiva es explicar de manera clara y sintética el proceso seguido en la creación del mapa correspondiente, y aportar las claves necesarias para entender mejor la información ecológica de cara a que se pueda hacer un buen empleo. El contenido específico de cada una de las apartados de las fichas descriptivas se es el siguiente:

- Especie: número común y científico de la especie modelizada. caso de que el mapa corresponda a un aspecto particular de la biología de la especie (i.e. división por géneros, lugares de festejo o lugares de puesta), la descripción genérica sobre la tipología de las observaciones utilizadas se incluirá en este apartado.
- Resumen: objetivo del mapa y breve resumen del proceso seguido.
- Información ecológica: información ecológica básica sobre la especie estudiada de tipo (área de distribución global y catalana, fenología, hábitats que ocupa, etc.) extraída de bibliografía específica y de consulta a expertos.

- Información biológica de base: se caracteriza la información empleada como variable de respuesta en los modelos. Puede provenir de información biológica recogida al campo, información bibliográfica o cartografía preexistente. Se especifica el origen de los datos, el período de obtención o la época de realización de las prospecciones, los métodos de muestreo empleados, su diseño metodológico, los autores y finalmente la resolución espacial a la que los datos han sido obtenidas y su fiabilidad.
- Información ambiental: variables ambientales empleadas para construir el modelo, y que servirán para elaborar el mapa final. También incluye información sobre las fuentes de información a partir de las que se obtiene cada variable ambiental, su resolución espacial y el ámbito de trabajo.
- Modelización estadística utilizada: descripción del método de modelización utilizado y breve explicación de sus características principales.
- Evaluación y consideraciones ecológicas del modelo: descripción de los procesos estadísticos y de conocimiento de experto seguidos para evaluar el modelo y sus resultados. Cuando sea posible, se muestran las curvas de respuesta de las variables ambientales utilizadas. Así mismo se hacen las consideraciones ecológicas de carácter general oportunas que ayudan a interpretar el resultado del modelo obtenido. Hay que remarcar que el objetivo del proyecto CARTOBIO es la generación de cartografía temática y no la interpretación ecológica detallada de los resultados. Es por esto, que la interpretación ecológica incluida en la ficha de interpretación de la especie se considera solo como una interpretación aproximada y que la importancia o interpretación de los resultados podrían variar en un estudio específico más detallado.
- Interpretación del mapa final: interpretación de la información que proporciona el mapa obtenido, juntamente con una descripción técnica del ámbito del modelo, su resolución espacial y las unidades del mapa (información incluida en los metadatos del mapa generado). Cuando ha sido necesario generar más de un mapa, en este apartado se justifican los motivos.
- Limitaciones y perspectivas: en este apartado se incluye una breve discusión sobre las posibilidades para superar las limitaciones de la información biológica de base y de las variables ambientales, además de recoger propuestas de futuro con el objetivo de mejorar la cartografía obtenida.

RESULTADOS

Durante los años 2007 y parte del 2008 se ha procedido a la generación de cartografía temática para las especies recogidas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 1. Cartografía generada en el marco del proyecto CARTOBIO a lo largo del 2007 y parte del 2008.

GRUPO/ESPECIE	OBJETIVO	ÁMBITO
Reptiles		
Lagartija aranesa <i>Iberolacerta aranica</i>	Adecuación del hábitat dentro del área de empleo	Pirineos
Lagartija pallaresa <i>Iberolacerta aurelioi</i>	Adecuación del hábitat dentro de las áreas de empleo	Pirineos
Lagarto ágil <i>Lacerta agilis</i>	Adecuación del hábitat dentro de las áreas de empleo	Pirineos
Tortuga mediterránea <i>Testudo hermanni</i>	Calidad del hábitat	Sierra de la Albera (Alt Empordà)
Aves		
Urogallo <i>Tetrao urogallus</i>	Calidad de hábitat en zonas de canto de machos (año 2005).	Pirineos
Sisón <i>Tetrax tetrax</i>	Calidad del hábitat de reproducción (año 2007)	Plana de Lleida

GRUPO/ESPECIE	OBJETIVO	ÁMBITO
Mamíferos		
Armiño <i>Mustela erminea</i>	Calidad del hábitat	Pirineos
Oso pardo <i>Ursus arctos</i>	Calidad del hábitat de machos, hembras (por separado y conjuntamente) y calidad de hábitat de crías. Cada caso para primavera, verano, otoño y invierno.	Pirineos
Quirópteros (10 especies)	Calidad del hábitat	Catalunya
Artrópodos		
Ortópteros (160 especies)	Calidad del hábitat	Catalunya
Mosquito tigre <i>Aedes albopictus</i>	Análisis de la expansión del mosquito tigre en Catalunya 2005-2007	Catalunya

Los primeros resultados del CARTOBIO mejoran sustancialmente la información existente sobre la distribución espacial de las especies modelizadas, en la Figura 1 se muestra el ejemplo de la cartografía existente en el DMAH y la cartografía equivalente resultado del proceso de modelización para el caso del sisón (*Tetrax tetrax*).

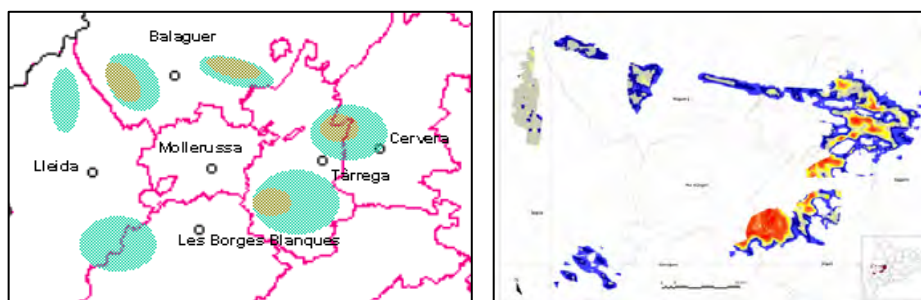


Figura 1. Ejemplo de cartografía original disponible en el DMAH sobre el sisón (*Tetrax tetrax*) y a la izquierda cartografía obtenida en el proyecto CARTOBIO, concretamente corresponde a un mapa de idoneidad de hábitat para las puestas de sisón en el 2007.

En la Figura 2 se muestra otro ejemplo de un mapa resultante de CARTOBIO con su ficha descriptiva asociada al mapa:

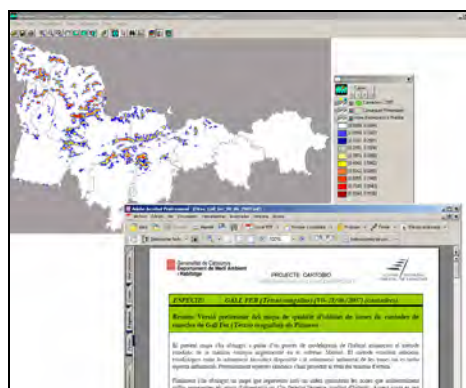


Figura 2. Mapa de calidad del hábitat para cantaderos de urogallo en el Pirineo de Catalunya con su ficha explicativa asociada y accesible des del propio mapa

APLICACIONES ACTUALES

Cumpliendo con los objetivos del proyecto, la cartografía resultante del proceso de modelización se está utilizando como herramienta de soporte a la toma de decisiones en el día a día de la gestión del patrimonio natural. A continuación se describen algunos ejemplos:

- Determinación de posibles zonas de riesgo de ataque y depredación del oso pardo al ganado a partir de la comparación de la cabana ramadera y la distribución espacial de los osos según los modelos.
- En el caso concreto de los modelos de oso pardo, urogallo y tortuga mediterránea las cartografías generadas se han utilizado para complementar las medidas de protección de los Parques Nacionales, Parque Natural, Zonas PEIN, Red Natura 2000 y otras figuras de planificación territorial que afectan a la distribución de dichas especies.
- Detección de nuevas posibles zonas a prospectar para conocer mejor la distribución real de las especies.
- Apoyo en la descripción y cálculo del hábitat disponible para la especie: tamaño, conectividad, altitud, orientación, vegetación, tipo de bosques, etc.
- Comparación de zonas y hábitats utilizados para el oso pardo autóctono (antes del 1990) y de los osos procedentes de la reintroducción.
- Definición de las zonas y hábitats utilizados para el oso pardo a lo largo del año y según el sexo y edad.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de los expertos en cada una de las especies: Santiago Palazón, Josep Maria Olmo Vidal, David Guixé, Gerard Bota, Carles Flaqué, Xavier Puig, Roger Eritja, Albert Vilardell y Leonardo Bejarano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castell, C., Beltran, A. y Margall, M. (2003): El Sistema de Información Territorial de la Red de Espacios Libres de la provincia de Barcelona (SITxell). En: Folch, R. (Ed.), *El Territorio como sistema. Conceptos y herramientas de ordenación*. Barcelona: Diputació de Barcelona. 291 pp.
- Estrada, J., Pedrocchi, V., Brotons, L. y Herrando, S. (2004): *Atles dels ocells nidificants de Catalunya 1999-2002 (Catalan breeding bird atlas 1999-2002)*. Barcelona: Institut Català d'Ornitologia (ICO) / Lynx Edicions. 638 pp.
- Graham, C. H. y Hijmans, R. J. (2006): A comparison of methods for mapping species ranges and species richness. *Global Ecology and Biogeography*, 15: 578-587.
- Guisan, A. y Zimmermann, N. E. (2000): Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135: 147-186.
- MINUARTIA (2003): *Proposta d'estructuració del mòdul de fauna i connectivitat en el Sistema d'Informació*

Territorial de la Xarxa d'Espais Lliures de la província de Barcelona. Diputació de Barcelona (inèdit). 54 pp.

- Pearce, J. y Ferrier, S. (2001): The practical value of modelling relative abundance of species for regional conservation planning. *Biological Conservation*, 98: 33-43.
- Peterson, A. T. (2001): Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *Condor*, 103: 599-605.
- Phillips, S. J., Dudík, M. y Schapire, R. E. (2004): A maximum entropy approach to species distribution modeling. En: *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*, pp.: 655-662.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. y Schapire, R. E. (2006): Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259.
- Pons, X. (2004): *MiraMon. Sistema d'Informació Geogràfica i software de Teledetecció*. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF), Bellaterra, Barcelona.
- Pulliam, H. R. (2000): On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters*, 3: 349-361.
- Rodríguez, J. P., Brotons, L., Bustamante, J. y Seoane, J. (2007): The application of predictive modelling of species distribution to biodiversity conservation. *Diversity and Distributions*, 13: 243-251.
- Schnase, J.L., Stohlgren, T.J., y Smith, J.A. (2002): The National Invasive Species Forecasting System: A strategic NASA/USGS partnership to manage biological invasions. *NASA Earth Science Enterprise Applications Division Special Issue*. Earth Observing Magazine, August, pp.: 46-49.
- Vaughan, I. P. y Ormerod, S. J. (2005): The continuing challenges of testing species distribution models. *Journal of Applied Ecology*, 42: 720-730.
- Wiens, J. J. y Donoghue, M. J. (2004): Historical biogeography, ecology and species richness. *Trends in Ecology & Evolution*, 19: 639-644.

Camacho, F.; Lanjeri, S.; Vayá, J.; Ruiz, G²; Martínez, B.; Jiménez, J. C.; Alonso, L. y González-Piqueras, J. (2008): *Cartografía medioambiental en tiempo real a partir de datos de teledetección y tecnologías de la información*. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 215-225. ISBN: 978-84-96971-53-0.

CARTOGRAFÍA MEDIOAMBIENTAL EN TIEMPO REAL A PARTIR DE DATOS DE TELEDETECCIÓN Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Camacho, F.¹; Lanjeri, S.¹; Vayá, J.¹; Ruiz, G.²; Martínez, B.³; Jiménez, J. C.³; Alonso, L.³ y González-Piqueras, J.⁴

(1) EOLAB. Vivero Empresarial. Parc Científic Universitat de Valencia. Pol. La Coma s/n. E-46980 Paterna (Valencia). fernando.camacho@eolab.es

(2) KONOCER Sistemas de información. C/ Trafalgar 52 bloque 1 4^oC. E-46023 Valencia.

(3) Universitat de València. c/Dr. Moliner, 50. E-46100 Burjassot (Valencia).

(4) IDR. Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Universitario s/n, E-02071 Albacete.

RESUMEN

En este trabajo presentamos el prototipo GEA, un gestor de información medioambiental basado en una aplicación web y Google Maps ©, que permite obtener cartografía ambiental derivada mediante teledetección en tiempo real. El prototipo proporciona una serie de parámetros de gran interés medioambiental obtenidos mediante técnicas de teledetección (NDVI, cobertura vegetal, índice de área foliar) así como un producto de valor añadido como es la necesidad hídrica de cultivos de regadío, un parámetro de gran interés para la adecuada gestión de los recursos hídricos. El prototipo GEA está compuesto de tres módulos: 1) módulo geoestadístico, que genera mapas de precipitación y evapotranspiración de referencia a partir de datos de estaciones agrometeorológicas, 2) módulo de teledetección, que procesa las imágenes de satélite (Landsat, MODIS) para obtener mapas de productos biofísicos y evapotranspiración y 3) módulo que utiliza las tecnologías de la información para desarrollar la aplicación on-line GEA, que permite al usuario definir regiones de interés, consultar en tiempo real las necesidades hídricas de los cultivos, elaborar informes y descargar las imágenes, así como la creación de una base de datos históricos o la configuración de alarmas para situaciones de estrés hídrico.

Palabras Clave: cartografía medioambiental, teledetección, GEA, evapotranspiración, necesidades hídricas.

ABSTRACT

In this paper we present prototype GEA, an environmental information manager based on Web application and Google Maps ©, to obtain derived environmental cartography in real time by means of remote sensing. The prototype propose several parameters of great environmental interest (NDVI, vegetation cover, Leaf Area index) obtained by means of remote sensing techniques as well as a product of added value as Water Requirement of irrigated land cultures, very interesting parameter for suitable management of water resources. The GEA prototype is composed by three modules: 1) geostadistic module, that generates precipitation maps and evapotranspiration of reference from agrometeorological stations data, 2) remote sensing module, that processes satellite imageries (Landsat, MODIS) to obtain biophysics product maps and real evapotranspiration and 3) module that uses technologies of information to develop GEA application online, and allows user to define regions of interest, to consult in real time Water Requirement of cultures, to elaborate reports and download images, as well as implementation of an historical database or configuration of alarms for water stress situations.

Key words: environmental cartography, remote sensing, GEA, evapotranspiration, water requirement.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de observación de la tierra permiten cartografiar un gran número de parámetros geobiofísicos de la superficie terrestre con distinto nivel de procesado, tales como la reflectividad y el albedo, la emisividad y

la temperatura de la superficie, cobertura vegetal (FVC), índice foliar (LAI), la evapotranspiración (ET), necesidades hídricas (NH) o el contenido en agua de la vegetación (EWT), por citar solo los más relevantes, y que hemos denominado en este trabajo de forma genérica como cartografía ambiental. Estos productos se están generando a baja resolución en diferentes programas (MODIS de NASA, LandSAF de EUMETSAT, VGT4AFRICA de la UE, y LMCS de GMES) para estudios globales. Este tipo de cartografía se puede realizar de forma operacional también a otras escalas de trabajo para estudios locales (con datos Landsat o SPOT) o regionales (datos MODIS 250m). El interés en cartografiar estas variables ambientales de forma operacional reside en la utilidad que tiene para numerosas aplicaciones, como la agricultura de precisión, gestión de los recursos hídricos; monitorización de zonas con alto valor ecológico, bosques, desertificación, ciclo de carbono, producción de alimentos, cambio climático, etc.

Actualmente, el acceso a dicha cartografía derivada mediante teledetección se puede realizar de forma sencilla y robusta mediante tecnologías de información, permitiendo al usuario acceder a la misma, seleccionando el área de interés y el tipo de producto deseado.

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de un sistema operacional (GEA) para estimar cartografía ambiental, a partir de satélites de observación de la tierra y datos agroclimáticos, y distribuirlos on-line y en tiempo real haciendo uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). En primer lugar, desarrollamos las herramientas para generar cartografía de variables agroclimáticas (Precipitación y Evapotranspiración de referencia), en segundo lugar desarrollamos las cadenas de procesado para generar de forma automática los productos de teledetección a partir de imágenes Landsat-5 TM y MODIS utilizando para ello algoritmos robustos y fiables, validados previamente, y finalmente, desarrollamos una interfase basada en el API de GoogleMaps© que permitan que el usuario pueda seleccionar productos, visualizarlos y acceder a los mismos remotamente.

METODOLOGIA

El prototipo funcional consta de tres módulos o componentes principales (Figura 1), cada módulo con sus propias funcionalidades y que persiguen unos objetivos concretos, y que en su conjunto solucionan de forma eficiente el problema tecnológico que nos planteamos. Es decir, la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos de regadío para zonas extensas de forma operacional utilizando para ello datos de satélite y datos meteorológicos, todo ello integrado en un gestor de información que permita al usuario la localización y obtención de información de una zona determinada.

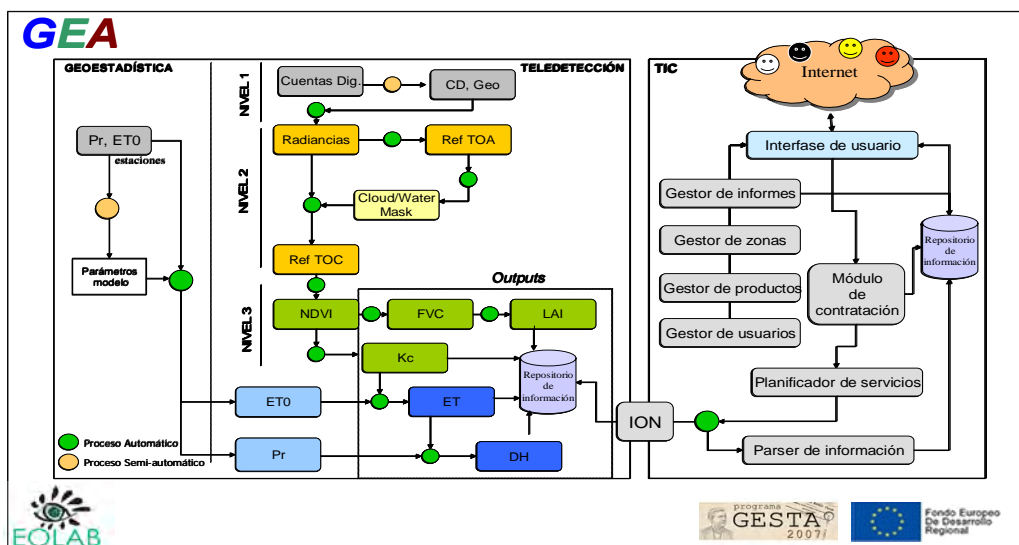


Figura 1. Esquema general del prototipo diseñado

A continuación describimos las principales funcionalidades de los tres módulos:

MÓDULO 1: GEOESTADÍSTICA

Este módulo ha sido desarrollado para la estimación de la evapotranspiración y las necesidades hídricas de los cultivos, que se obtiene de acuerdo a la metodología FAO Kc-ET_c conocida como “en dos pasos”, donde para el cálculo de la ET_c es necesario conocer la ET_o y, posteriormente, necesitamos conocer la precipitación para realizar una estimación de las necesidades hídricas de los cultivos.

El módulo permite transformar los datos puntuales de precipitación (Pr) y evapotranspiración de referencia (ET_o) recogidos por estaciones agro-meteorológicas en mapas de estas variables para la zona de estudio (Comunidad Valenciana) con la resolución y en la proyección adecuada para ser utilizado directamente como entrada en el módulo de teledetección donde se procesa la imagen de satélite. Los datos utilizados para derivar los mapas de ET_o y Pr se han obtenido a partir de los servicios de riego proporcionados por el IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias). La figura 2 muestra la ubicación de las estaciones del IVIA. Esas estaciones proporcionan datos agroclimáticos diarios junto con la evapotranspiración de referencia, ET_o (mm), y la precipitación, Pr (mm). La evapotranspiración ET_o se calcula a partir del método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). A través de la web se puede acceder también a los datos de ET_o y Pr de la última semana natural, a datos mensuales para el año en curso, a medias mensuales históricas y a la comparación de los meses del año en curso con los valores medios históricos.

Este módulo necesita como entrada los datos puntuales de Pr y ET_o, y sus respectivas coordenadas geográficas, determinar el modelo de continuidad espacial de los datos (paso intermedio) y especificar la malla de la interpolación. La salida de este módulo son los mapas de las variables (Pr, ET_o), georeferenciados, en formato binario y a la resolución deseada.

En la figura 3 se muestran ejemplos de variogramas omnidireccionales para las variables ET_o (Fig. 3a) y Pr (Fig. 3b) y los modelos ajustados a dichos variogramas respectivamente (Martínez, 2007). Esos modelos pueden ser bien gaussianos o esféricos dependiendo del error de ajuste de cada modelo. Después de analizar estadísticamente los resultados obtenidos por un modelo u otro, hemos decidido aplicar el modelo gaussiano para la estimación de la evapotranspiración, y el esférico para la precipitación.

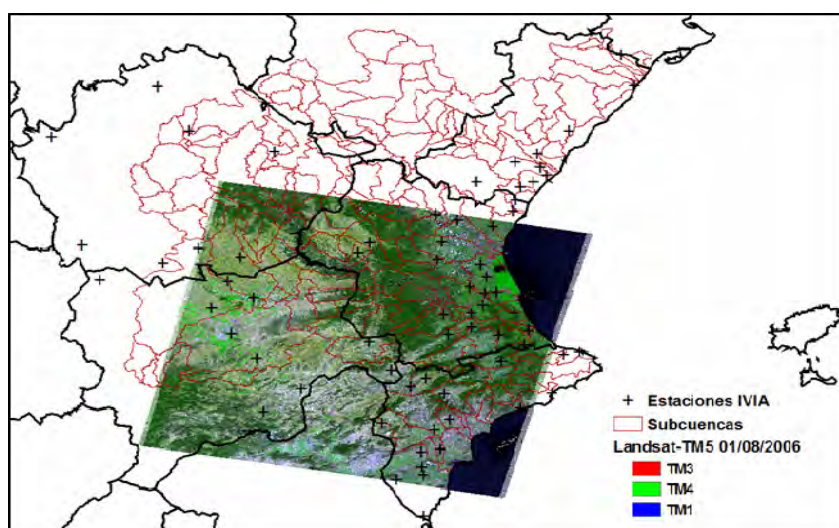


Figura 2. Localización de las estaciones agroclimáticas proporcionadas por el IVIA, junto con una imagen Landsat-5 TM del 1 de agosto de 2006. La figura incluye las subcuencas del Júcar

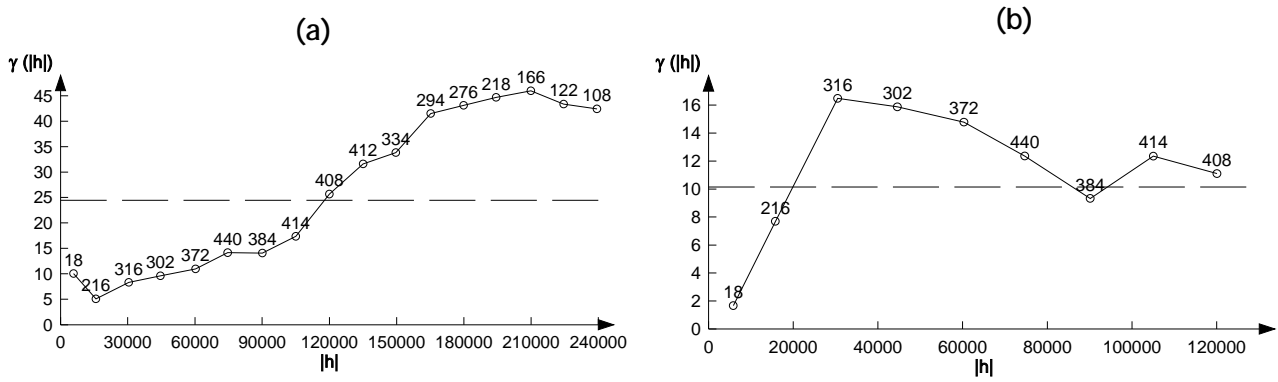


Figura 3. Variogramas omnidireccionales de las variables ET₀ (a) y Pr (b)

Una vez calculado el modelo de continuidad espacial de las variables ET₀ y Pr, se procede a la estimación de los mapas para toda la comunidad valenciana a partir de la técnica espacial del kriging (Isaaks y Srivastava, 1989). Los mapas obtenidos mediante la aplicación del kriging a los valores de ET₀ y Pr se muestran en la figura 4.

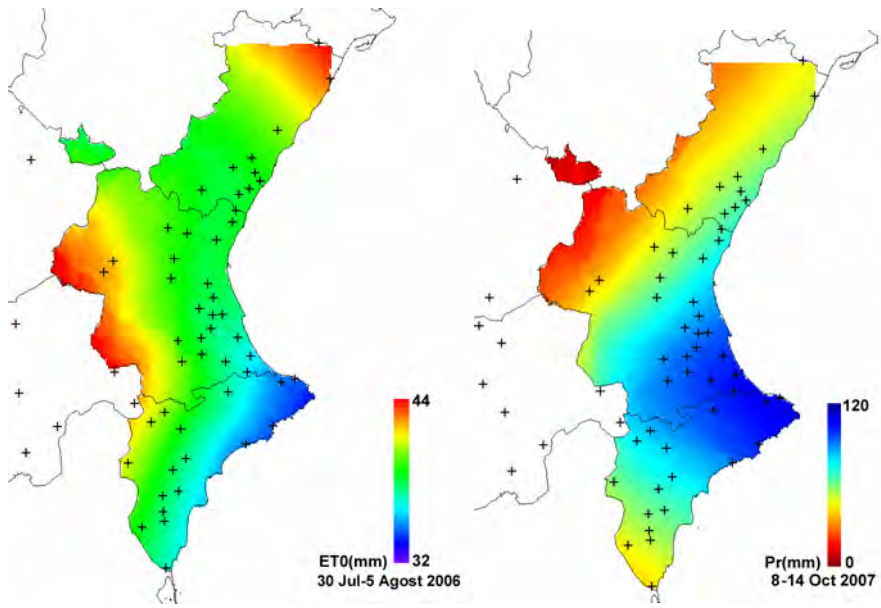


Figura 4. Mapas de ET₀ y Pr a 30 m de resolución espacial obtenidos mediante la técnica de kriging aplicada a los valores proporcionados por las estaciones del IVIA

MÓDULO 2: TELEDETECCIÓN

Este es el módulo principal del prototipo ya que es el módulo donde se procesa la imagen de satélite para obtener los productos de evapotranspiración y necesidad hídrica, junto con otros productos agrónómicos. Este módulo transforma la imagen en cuentas digitales (Nivel 1), en productos de Nivel 2 o radiativos (Reflectividad TOA, Reflectividad TOC, Temperatura), de Nivel 3 o biofísicos (NDVI, Kc, FVC, LAI) y de Nivel 4 o

hidrológicos (ETc, NH, EWT). El objetivo principal es obtener como productos finales los parámetros biofísicos (Kc, FVC y LAI) así como la evapotranspiración (ET) y la necesidad hídrica (NH).

La función de este módulo es realizar la cadena de procesado de la imagen de satélite para transformar una imagen en cuentas digitales en la información de la superficie deseada. Este procedimiento consta de etapas sucesivas, tal y como se puede apreciar en la figura 5. Se han desarrollado un total de 10 funciones diferentes, todas se ejecutan secuencialmente de forma automática una vez lanzado el programa principal. Todos los algoritmos utilizados son robustos y ya han sido utilizados para Landsat si bien se han introducido mejoras en algunas funciones (Camacho et al., 2008).

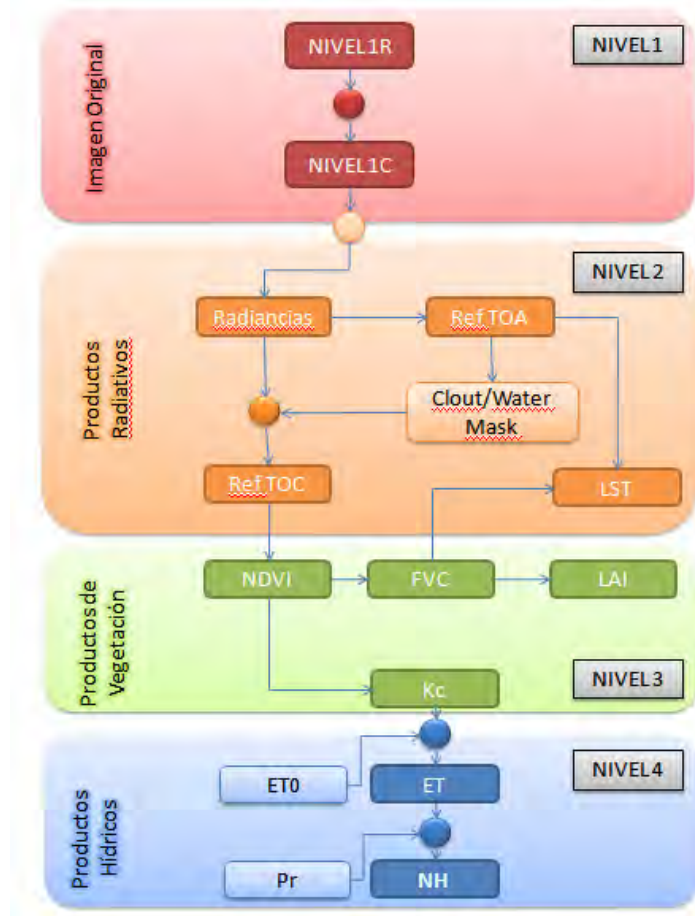


Figura 5. Diagrama de Flujo del proceso de obtención de ET_0 y Pr a partir de imágenes Landsat-5 TM

A continuación describimos los principales pasos de la cadena de procesado diseñada:

Las imágenes recibidas en un formato de cuentas digitales (DN) se corrigen geoméricamente con puntos de control. Esta información es proporcionada en un archivo junto con una cabecera que contiene información como ganancia y offset. Se utiliza esa información para pasar a valores de radiancias (N1) y posteriormente a reflectividades en el techo de la atmósfera (Nivel 2), tal y como se describe en Vermote et al. (1997). En este caso, la reflectividad es calculada píxel por píxel para cada escena. Los valores de irradiancia solar requeridos para el cálculo de la reflectancia TOA son tomados de “*Landsat 7 science Data Users Handbook*” (NASA, 2002). En este punto, se aplica a la imagen la corrección para eliminar artefactos como puedan ser las nubes o el agua, para así tener una imagen limpia sobre la que calcular la reflectividad de superficie, aplicando el modelo simplificado propuesto por Chavez (1996), que permite una corrección operacional dado que solo utiliza información de la propia imagen para corregir la misma.

Una vez se ha llegado a este nivel de procesado, ya se tiene la información necesaria para poder empezar a calcular los distintos productos de vegetación de nivel 3 que representan información útil acerca de las cualidades estructurales de las plantas.

El NDVI, o índice de vegetación normalizado, que se calcula mediante una combinación algebraica de reflectividades espectrales de la cubierta vegetal en las bandas del rojo e infrarrojo cercano. El NDVI pese a sus limitaciones sigue siendo el indicador de referencia para determinar la vegetación desde satélite.

La fracción de la cubierta vegetal (FVC) es una propiedad intrínseca de las cubiertas vegetales, no depende de factores externos como la iluminación o el suelo de fondo, y nos indica la proporción de suelo ocupada por vegetación. Es un parámetro complementario al índice foliar que describimos brevemente a continuación.

La FVC ha sido calculada utilizando para ello el NDVI. La FVC se relaciona con el NDVI usando una contribución lineal del NDVI desde zonas con vegetación a zonas desérticas. La función utilizada ha sido validada ampliamente y propuesta para la estimación operacional de la cobertura vegetal en el programa VGT4Africa de la Comisión Europea (Camacho-de Coca et al., 2006). El algoritmo está definido por Gutman and Ignatov (1998) como sigue:

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_\infty - NDVI_s}$$

donde el NDVI es el producto calculado en la etapa anterior, $NDVI_s$ representa el valor del NDVI en áreas de suelo desnudo, y $NDVI_\infty$ es el valor de los píxeles con 100% de cobertura vegetal. Los valores de $NDVI_s$ y $NDVI_\infty$ se asumen como valores constantes y son extraídos automáticamente a partir del histograma de frecuencias. $NDVI_s$ toma el valor de 0.18 para suelo, y $NDVI_\infty$ toma el valor de 0.87.

El índice de vegetación (LAI, Leaf Area Index) es una variable adimensional (m^2/m^2) que define una propiedad estructural muy importante de las plantas. El LAI se define como la mitad del total del área foliar por unidad de área (Chen and Black, 1992). Proporciona información complementaria al FVC, definiendo la superficie de hojas contenida en una columna vertical normalizada por su área normal a la sección cruzada ("cross-sectional").

La función para derivar el LAI está basada en la ecuación de Roujean and Lacaze (2002), que ha sido validada en diferentes condiciones, y es utilizada actualmente de forma operacional en LandSAF (EUMETSAT). La relación es la siguiente:

$$FVC = 1 - \exp(-b \cdot G(\theta_s = 0) \cdot \Omega \cdot LAI)$$

donde b es una función que depende del albedo foliar y es igual a 0.945, $G(\theta_s)$ es el factor de Ross, relativo a la orientación foliar, y que se asume igual a 0.5 (distribución uniforme), Ω es el grado de agrupación de las hojas, igual a 1 en el caso de asumir distribución aleatoria de hojas. Esta suposición nos lleva al cálculo de un LAI efectivo.

El coeficiente de cultivo (K_c) caracteriza la capacidad de evaporación del cultivo en condiciones óptimas en relación con la de una superficie de referencia, controlada por diferentes factores de tipo meteorológico, del suelo y del propio cultivo. Diferentes autores en los años 80 observan la similitud de las curvas de coeficiente de cultivo y de índice de vegetación mediante curvas de radiometría de campo. El comportamiento paralelo de ambas magnitudes sugiere una nueva herramienta en la programación de necesidades hídricas en cultivos de regadío. A diferencia del método tradicional en el que K_c es un valor tabulado para cada tipo de cultivo en función del periodo de crecimiento (FAO), aquí presentamos una solución basada en la determinación desde satélite del coeficiente de cultivo, K_c , lo que nos permite hacer una estimación continua de la evapotranspiración y, por tanto, una previsión de las necesidades hídricas de la cubierta vegetal sobre áreas extensas. Presentando además la ventaja de que responde al estado real del cultivo que puede diferir del estado 'tabulado' por múltiples razones como los cambios climáticos.

En este trabajo hemos adoptado una relación empírica obtenida en el IDR de la Universidad de Castilla-La

Mancha, que está siendo actualmente utilizada en el sistema de asistencia al regante de la zona. La relación ha sido calibrada en cultivos de la zona con más de 1300 medidas y una gran variedad de cultivos (González-Piqueras, 2006), los resultados demuestran una dependencia lineal entre el NDVI y el Kc, que se mantiene durante todo el ciclo fenológico de los cultivos y, por tanto, para los diferentes niveles de cobertura vegetal existente. La relación utilizada es la siguiente:

$$Kc=1.08*NDVI+0.22$$

Esta relación empírica solo tiene validez, lógicamente, para el tipo de cultivos herbáceos en los que ha sido determinada, si bien aquí se utiliza para demostrar la operatividad de este concepto. Para diferentes tipos de cultivos tendríamos que calibrar una ecuación entre la reflectividad (NDVI) y el coeficiente de cultivo. Esta experiencia se está realizando en la Comunidad Valenciana para cítricos.

La evapotranspiración es el proceso físico por el cual se transfiere agua y energía asociada desde el sistema cubierta vegetal y suelo a la atmósfera como resultado de la evaporación y la transpiración de las plantas. También podemos encontrar la definición de ET como la cantidad de agua transferida a la atmósfera. Para estimar la ET utilizamos el método FAO56 (Allen et al., 1998) aceptado mundialmente para el cálculo de las necesidades hídricas. Este método se conoce también como el método en dos pasos o $Kc \times ET_0$. Lo que obtenemos es el factor conocido como ET_c , es decir, la evapotranspiración real de una cubierta vegetal bajo condiciones óptimas de suministro de agua, con un adecuado suministro de nutrientes, libre de enfermedades, y con el objeto de obtener la máxima producción bajo unas condiciones climáticas determinadas.

$$ET_c= Kc \times ET_0$$

ET_c representa, por tanto, la evapotranspiración del cultivo en condiciones ideales para obtener su máxima producción.

Finalmente, las necesidades hídricas se obtienen a partir de un balance hídrico simplificado. Podemos decir que las necesidades netas de riego, o necesidades hídricas del cultivo (NH), se obtendrán aplicando la siguiente ecuación:

$$NH=ET_c-Pe+w$$

Donde ET_c es la evapotranspiración del cultivo, Pe es la precipitación efectiva y w es la variación de la reserva de agua en el suelo. Este último factor no podemos evaluarlo mediante teledetección, y será un factor de incertidumbre asociado al modelo. La precipitación efectiva es el porcentaje de precipitación disponible para su utilización por la planta, dado que parte del agua se pierde por escorrentía superficial o por percolación profunda. El valor utilizado de precipitación efectiva es de un 70% del total de lluvia caída (López-Urrea, 2004; Villalobos et al., 2002).

La información de entrada en este módulo es únicamente la imagen Landsat-5 TM de nivel 1 que proporciona Euroimage y para la obtención de los productos hidrológicos (nivel 4) los mapas de variables meteorológicas. Para obtener productos de nivel superior se requiere como input los de nivel anterior. La salida de las distintas etapas de la cadena de procesado son imágenes de diferentes productos, todos en un formato común (2 bits, entero), georeferenciadas, en proyección geográfica y a la resolución original de Landsat (30m).

Los productos finales tanto de vegetación como de agua derivados con Landsat se muestran la figura 6. De forma similar se han generado productos a partir de MODIS (MOD09) para demostrar la operatividad del prototipo (figura 7). Los datos MODIS en tiempo real serán obtenidos en tiempo real con la antena de la Universidad de Valencia.

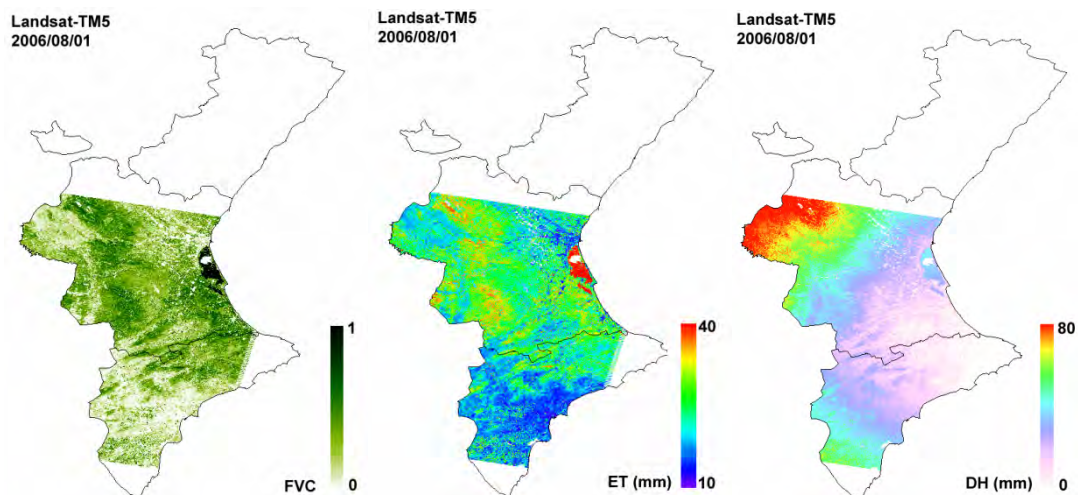


Figura 6. Mapas de FVC, ET y NH obtenidos a partir de la aplicación del módulo de teledetección a imágenes de Landsat (30 m de resolución espacial), 1 de Agosto del 2006. (La imagen de NH es un ejemplo utilizando una imagen de precipitación de octubre, la semana del 1 de Agosto la precipitación fue nula por lo que la necesidad hídrica es igual a la ETc).

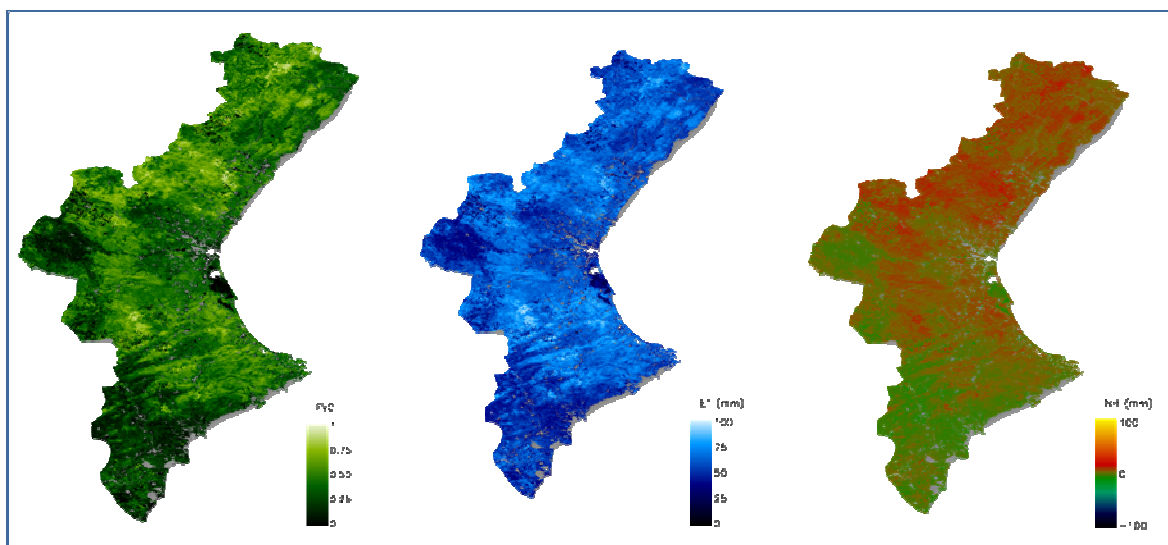


Figura 7. Mapas de FVC, ET y NH obtenidos a partir de la aplicación del módulo de teledetección a imágenes de MODIS (250 m de resolución espacial), 10-17 de Mayo del 2008

La figura 8 muestra los perfiles temporales de evapotranspiración y necesidades hídricas obtenidos con datos MODIS para una zona de Vid y otra de Cítricos ambas situadas en la Comunidad Valenciana. Esta información se va actualizando periódicamente con cada nueva adquisición, y es posible visualizarla a través del sistema GEA, con lo que además el usuario puede tener una información cuantitativa de su zona de interés. En este ejemplo dicha información sirve como apoyo para la planificación de riegos de las comunidades de regantes.

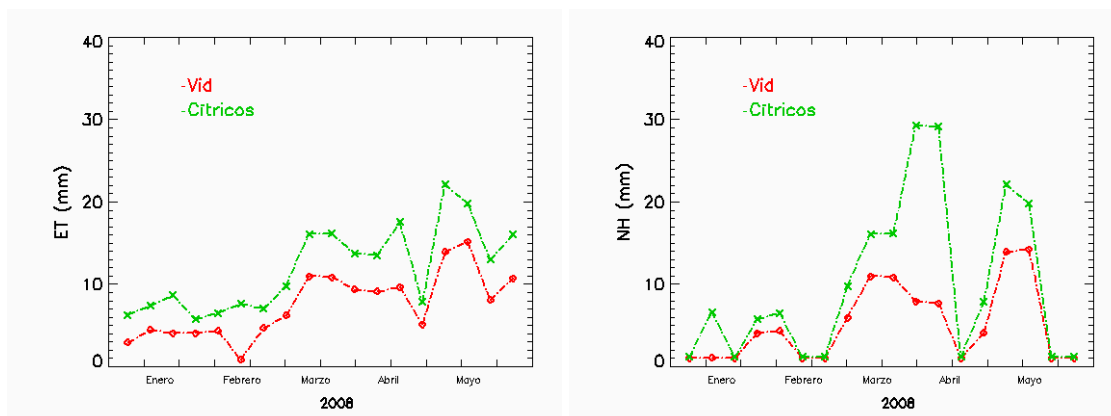


Figura 8. Perfiles temporales de evapotranspiración (derecha) y necesidades hídricas (izquierda) obtenidos con datos MODIS (250) para dos zonas de estudio de Vid (Utiel-Requena) y Cítricos (LLombai).

Actualmente, estamos en fase de validación de los productos en la zona de estudio de vid de Requena-Utiel (*Valencia Anchor Station*), y en una zona piloto de cítricos de Llombai (Valencia) en la que trabaja el IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) midiendo la necesidad hídrica real de los cultivos con sensores que miden la humedad del suelo hasta 50 cm de profundidad.

MÓDULO 3: MODULO DE TECNOLOGIA DE INFORMACION Y DE LA COMUNICACIÓN

El módulo TIC del prototipo GEA responde a la propuesta realizada en el proyecto de ofrecer un gestor de información mediante el cual el cliente podrá seleccionar áreas de interés, contratar los servicios y acceder a la información, por lo que determina el modelo de negocio de GEA vía web.

GEA está desarrollado según los estándares de los sistemas WEB 2.0, empleando AJAX como herramienta de desarrollo e integración. Como herramienta de soporte para la visualización de información GIS se ha empleado la API de Google Maps dadas sus características de flexibilidad y potencia. En cuanto al módulo de intercambio de información entre GEA y los algoritmos de análisis comprendidos, se ha empleado XML como formato de intercambio de datos puesto que aporta la potencia suficiente como para establecer un formato de información suficientemente robusto y escalable como para que en futuras versiones de la aplicación, se puedan soportar no solo cualquier tipo de producto externo, sino la integración funcional con otro tipo de plataformas que aporten valor añadido a GEA.

Esté módulo recoge dos tipos de operativas independientes, por un lado, ofrece la posibilidad al usuario de GEA, de definir en tiempo real, basándose en una representación gráfica, con imágenes de satélite, un mapa geográfico o bien una representación híbrida; de la zona para la cual desea obtener los diferentes productos disponibles en GEA. El usuario tiene la posibilidad de dibujar polígonos, y guardarlos en su cuenta de usuario, asociando a cada polígono creado tantos productos como se encuentren disponibles. El sistema realiza la conversión automática a coordenadas latitud longitud y prepara el área para futuras consultas.

También, permite la gestión de altas, bajas, modificaciones y consulta de cuentas de usuario, las cuales podrán ser llevadas a cabo directamente desde la página web de entrada al sistema, por los propios usuarios, o bien desde las cuentas de administrador de sistema. En la figura 8, se muestra el interface GEA y los productos a contratar.

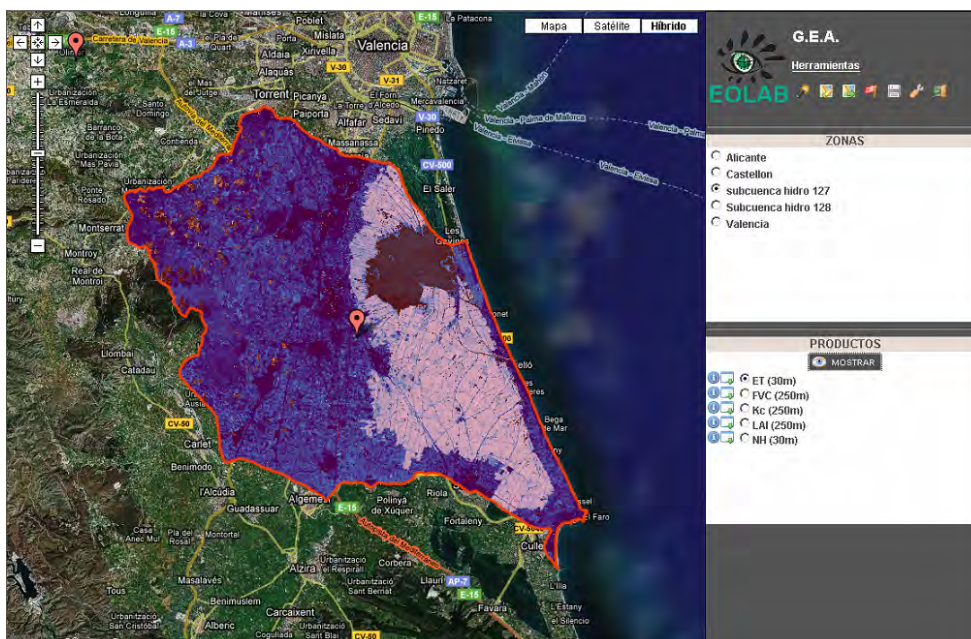


Figura 9. Interface de la página web GEA donde el usuario controla los productos que tienen contratados

CONCLUSIONES

Los sistemas de observación de la tierra permiten cartografiar variables geobiofísicas de utilidad en numerosas aplicaciones relacionadas con el medio ambiente. En este marco, EOLAB ha desarrollado el prototipo de GEA, capaz de generar cartografía ambiental con datos de satélite, así como visualizar y distribuir productos a los usuarios en tiempo casi real. Actualmente, se están utilizando imágenes de Landsat-5 TM a una resolución espacial de 30 metros, adecuada para estudios locales y aplicaciones de agricultura (seguimiento de cultivos, necesidades hídricas), así como una cadena de procesamiento de datos MODIS, con una resolución espacial de 250 metros, adecuada para aplicaciones regionales, que mejoran la resolución de los productos MODIS oficiales (1 km). La utilización de los datos recogidos por las antenas del IPL de la Universitat de Valencia permitirá monitorizar en tiempo real estas variables.

Actualmente los productos generados tanto con Landsat como con MODIS están siendo validados en diferentes zonas de Valencia, y el sistema está operativo desde Enero de 2008 con datos MODIS y datos agroclimáticos (IVIA). Esperamos que GEA pueda ser una herramienta eficaz para facilitar el acceso de la información de satélite a un mayor número de usuarios no especialistas en teledetección pero con interés en la gestión de los recursos naturales y en el estudio del medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el programa GESTA (IMPIVA) y por fondos FEDER de la Unión Europea, con el fin de resolver la gestión y optimización de los recursos hídricos, reconocido como un problema tecnológico por la Comunidad Valenciana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M. (1998): Crop Evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage, vol. 56.

- Camacho, F., Vayá, J.C. y Jiménez, J.C. (2008): Procesado de imágenes Landsat. *EOLAB Internal Report. EOLAB_08R03*, 23 pp.
- Camacho-de Coca, F., Jiménez-Muñoz, J.C., Martínez, B., Bicheron, P., Lacaze, R. y Leroy, M. (2006): Prototyping of fCover product over Africa based on existing CYCLOPES and JRC products for VGT4Africa. *Proceedings of the 2nd RAQRS symposium*, pp. 724-727.
- Chavez, P.S.Jr. (1996): Image-based atmospheric corrections-revisited and improved, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62: 1025-1036.
- Chen, J.M. y Black, T.A. (1992): Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant Cell Environ.* 15: 421-429.
- González-Piquieras, J. (2006): *Evapotranspiración de la cubierta vegetal mediante la determinación del coeficiente de cultivo por teledetección*. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia.
- Gutman, G. y Ignatov, A. (1998): Derivation of green vegetation fraction from NOAA/AVHRR for use in weather prediction models. *Int. J. Rem. Sens.*, 19: 1533-1543.
- Isaaks, E. y Srivastava, R. (1989): *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, Nueva York.
- López-Urrea, R. (2004): *Evapotranspiración de Referencia: Métodos de Cálculo y de Medición Directa en una estación Lisimétrica en ambientes semiáridos*. Tesis Doctoral, Departamento de Producción Vegetal y Tecnológica Agraria. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Albacete.
- Martínez, B. (2007): Estimación de mapas de ETo y Pr para la Comunidad Valenciana. *EOLAB Internal Report. EOLAB_07R03*, 14 pp.
- Roujean, J.L., Leroy, M. y Deschamps, P.Y. (1992): A Bidirectional reflectance model of the Earth's surface for the correction of remote sensing data. *Journal of Geophysical Research*, 97, D18: 20455-20468.7.
- Vermote, E.F. et al. (1997): Atmospheric correction of visible to middle-infrared EOS-MODIS data over land surfaces: Background, operational algorithm, and validation, *J. Geophys. Res.*, 102: 17131-17141.
- Villalobos, F. J., Mateos, L., Orgaz, F. and Fereres, E. (2002): *Bases y Tecnologías de la Producción Agrícola*. Mundi-Prensa, Madrid, 496 pp.

Cantergiani, Carolina; Rojas Quezada, Carolina y Salado García, María Jesús (2008): *Modelización en SIG de indicadores de transporte en el marco de la sostenibilidad urbana*. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 226-238. ISBN: 978-84-96971-53-0.

MODELACIÓN EN SIG DE INDICADORES DE TRANSPORTE EN EL MARCO DE LA SOSTENIBILIDAD URBANA

Cantergiani, Carolina; Rojas Quezada, Carolina y Salado García, María Jesús

Universidad de Alcalá, Departamento de Geografía. C/ Colegios, 2 – 28801, Alcalá de Henares (Madrid) - carolina.carvalho@uah.es, carolina.rojas@alu.uah.es, mariaj.salado@uah.es

RESUMEN

El transporte sostenible es un tema de gran interés para científicos y planificadores, ya que los actuales procesos de crecimiento urbano y utilización masiva de vehículos particulares están revelando evidentes costes ambientales, sociales y económicos. El uso de indicadores para el diagnóstico de la sostenibilidad urbana es un medio de cuantificar y reorientar dichas cargas. Dado el carácter eminentemente territorial tanto del crecimiento urbano como de las infraestructuras de transporte y los flujos por ellas conducidas, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) pueden ayudar a valorar la sostenibilidad de distintos modelos de desarrollo territorial. Este trabajo se relaciona con el diseño de indicadores en el marco de un componente de la sostenibilidad urbana el transporte público –. Específicamente se presenta el segundo componente y su elaboración con herramientas SIG. El área de estudio es Alcalá de Henares, una ciudad mediana perteneciente al Área Metropolitana de Madrid que ha experimentado en los últimos años un fuerte crecimiento urbanístico. Los resultados obtenidos permiten apreciar las diferencias internas en el sistema de transporte y en alguna medida aproximarnos a evaluar el fenómeno de sostenibilidad de un modelo de ciudad. Se discuten, asimismo, las limitaciones en cuanto a calidad y disponibilidad de la información necesaria en este tipo de estudios.

Palabras Clave: Indicadores de sostenibilidad, SIG, Transporte Público, Alcalá de Henares.

ABSTRACT

Sustainable Transport becomes a great interesting subject to the scientific community and planners, once the urban growth processes and massive use of particular vehicles reveal standards with evident environmental, social and economic costs. The use of indicators and measures to the urban sustainability diagnosis is a form of quantifying this phenomenon. Due to territorial context of the urban growth, as much as the transport infrastructure and their consequent flows, Geographic Information Systems (GIS) can offer measure instruments to analyse the sustainability in different territorial development models. This work presents the application of indicators developed in the frame of urban sustainability components, specifically public transport. The study area is the city of Alcalá de Henares, a medium city that belongs to the Metropolitan Area of Madrid that passed through a high urban growth during the last years. The results allow us to model different variables of urban transport system and, in some way, assess the sustainability phenomenon of a city model with its internal differences. Moreover, the limitations respect to the quality and availability of the needed information for this kind of study is also discussed.

Key Words: Sustainability Indicators, GIS, Public Transport, Alcalá de Henares.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Un desafío especialmente interesante en los estudios de sostenibilidad urbana reside en la búsqueda de procedimientos conceptualmente sólidos y metodológicamente justificables para medir la sostenibilidad de los modelos territoriales nucleados en torno a las ciudades actuales, especialmente el transporte público que se relaciona con factores tan importantes como el consumo de energía y la contaminación medioambiental (Kwok y Yeh, 2004). La lectura de muchos de los trabajos dedicados a la cuestión revela la conveniencia de seguir investigando en la búsqueda de medidas que ayuden a concretar un concepto tan vago como el que nos ocupa, y plantea

también el interés de reflexionar sobre su aplicabilidad a diferentes contextos y escalas, así como la necesidad de profundizar en aspectos operativos como pueden ser la naturaleza de la información disponible, el tipo de indicador o procedimiento a utilizar o las unidades territoriales de referencia para su aplicación.

Este trabajo presenta un conjunto de indicadores de transporte público desarrollados con herramientas SIG y pertenecientes a un sistema más amplio (Díaz et al., 2007); se aplican a la ciudad de Alcalá de Henares, núcleo importante del Área Metropolitana de Madrid.

Los indicadores cada vez más se validan como las herramientas adecuadas para analizar patrones urbanísticos y sostenibilidad urbana (Agencia Europea de Medio Ambiente, 1998 y 2000), además conociendo la estrecha relación que existe entre la estructura urbana y transporte, los índices de transporte público se presentan como uno de los principales indicadores de sostenibilidad, en este sentido las aplicaciones principales tienen relación con el consumo energético y la dependencia del automóvil. Entre los sistemas de indicadores de sostenibilidad destinados en exclusivamente al transporte urbano se pueden consultar las interesantes revisiones elaboradas por Gudmunsson (2001 y 2003). La estructura general de la sostenibilidad, definida por las tres dimensiones tradicionales – económica (indicadores de costes), social (indicadores de equidad) y ambiental (indicadores de presión) – está presente en muchos de estos sistemas, como los elaborados por Litman (2005), SUMMA (2005), Gilbert et al (2002), Nunes (2001), etc. Otros están claramente orientados al seguimiento de políticas y diseñados para su aplicación a grandes ámbitos, como el sistema TERM de la Agencia Europea del Medio Ambiente (2005). Se puede encontrar también buenas discusiones sobre el tipo y diseño de los indicadores y su adaptación a los sistemas de Presión-Estado-Respuesta (PER), por ejemplo, en Nunes (2001). Respecto a la estructura conceptual de los sistemas de indicadores, se reconoce que es más fácil establecer los atributos de un modelo de transporte sostenible (eficiencia, equidad, minimización de impactos y uso de recursos) que los de una movilidad sostenible, concepto mucho más vago y complejo, por tanto, de difícil conversión en medidas operativas (Gudmunsson 2001 y 2003).

Desde la perspectiva territorial, en los trabajos de Fariña y Pozueta (1998) y Camagni y otros (2002) se trata de reconocer la influencia de la estructura urbana (tipologías residenciales, modelos de desarrollo urbano) en los patrones de movilidad de la población, obteniendo conclusiones sobre los condicionantes del modelo territorial sobre la sostenibilidad de la movilidad y el transporte. Pozueta y Ojauguren (2005) se centran en el diseño urbano y su relación con los patrones de movilidad; critican el mantenimiento de unas estructuras urbanas que hacen de las infraestructuras viarias el principal elemento de articulación metropolitana y regional - y también del diseño de las nuevas áreas urbanas – y abogan por la planificación urbana basada en diseños urbanos orientados al transporte público. Con la aportación de los SIG, los índices de transporte público se vuelven herramientas más potentes, en el que fundamentalmente el mayor avance lo han experimentado los índices de accesibilidad y la determinación de áreas de servicio. La existencia de herramientas específicas como el análisis de redes ha permitido valorar el transporte público desde la eficiencia de la red. Desde las aplicaciones metodológicas los trabajos de Gutiérrez et al. (2000), han evaluado la accesibilidad peatonal a las redes de transporte público y los efectos espaciales sobre la competitividad de las ciudades y la cohesión territorial al introducir nuevas redes, en este caso de trenes de alta velocidad (Gutiérrez, 2004); en relación a las áreas de servicio O'Sullivan et al., (2000) desarrolla métodos para la generación de isócronas y Moreno y Prieto (2003) para estimar de forma más ajustada la población servida en las áreas de servicio.

De la literatura revisada, los indicadores modelados en SIG y especialmente diseñados para la medición de la sostenibilidad se encuentran el estudio de Kwok y Yeh (2004), que apunta a la medición de la diferencia entre la accesibilidad en el transporte público y privado; y en el de Zhang y Guindon (2006) que plantea que los índices de sostenibilidad urbana deben representar la relación entre los usos de suelo, formas urbanas, transporte y consumo de energía, específicamente aplicando análisis de modos de transporte y distancias de viajes.

ZONA DE ESTUDIO

Alcalá de Henares es una ciudad mediana, universitaria y turística situada al este del Área Metropolitana de Madrid que ha experimentado en los últimos tiempos un fuerte crecimiento urbanístico. Posee una intensa acti-

vidad industrial y terciaria y es una pieza clave del llamado Corredor del Henares y de la comunicación de la Comunidad de Madrid con el este peninsular.

El sistema de transporte público urbano, basado en una red radial a partir del centro urbano, es una herencia del modelo urbano tradicional. Se organiza en 29 Zonas de Transporte (ZT) definidas por el Consorcio Regional de Transportes de Madrid para la recogida de la Encuesta Domiciliaria de Movilidad de 2004 (ver Figura 1). Las zonas centrales (ZT 018, 019 y 020) se corresponden con el centro histórico y los barrios más antiguos y consolidados de la ciudad, con una tipología edificatoria de manzana cerrada, densidades medias-altas y una razonable mezcla de usos. Una primera periferia (ZT 011, 012, 013, 016, 017, 021, 022, 023, 024, 025, 028) está formada por las áreas constituidas entre los años 60 y 80 del siglo XX, ya con tipología residencial en orden abierto y una cierta pobreza funcional y de diseño. A esta ciudad tradicional se han superpuesto los nuevos desarrollos urbanísticos de la década de los 90 y principios del siglo XXI (ZT 003, 008, 009, 010, 027). Se trata de barrios en los que existe una cierta variedad formal (bloques de viviendas de escasa altura en orden abierto, unifamiliares adosados, súper manzanas con espacios verdes interiores) pero una escasa diversidad de usos. Además, se trata de zonas funcionalmente bastante independientes del centro tradicional, y más relacionadas con nuevas áreas de actividad situadas en la periferia del municipio (centros comerciales y de ocio) o incluso fuera de él.

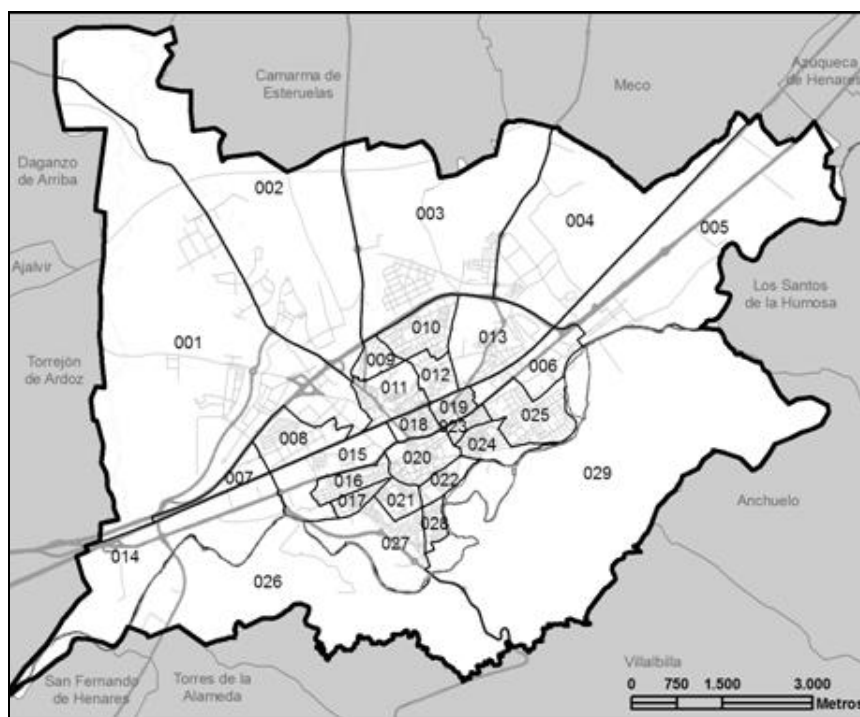


Figura 1. Mapa de zonas de transporte sobre callejero y viario supramunicipal (CRTM, 2002)

Por último, debemos hacer notar que el viario supra-municipal ha supuesto, desde hace más de un siglo, un elemento fundamental para entender la configuración y crecimiento de Alcalá: la antigua carretera N- II dirigió el desarrollo de la ciudad y constituye aún hoy día una vía rápida que organiza gran parte del tráfico urbano, y la línea de ferrocarril supone todavía (a pesar de los reiterados anuncios de soterramiento) una barrera urbanística de primer orden que divide en dos la ciudad. El actual trazado de la A-2 aísla, a su vez, buena parte de los nuevos desarrollos urbanísticos del resto de la ciudad contribuyendo en cierto modo a un cierto proceso de desarticulación funcional e incluso identitaria de la ciudad.

METODOLOGÍA

El Sistema de Indicadores propuesto¹ está compuesto de un conjunto de componentes derivados de los atributos de un modelo de movilidad y transporte sostenibles. En nuestra opinión, estos atributos son, en primer lugar, unos *patrones de movilidad* caracterizados por un número poco elevado de desplazamientos, especialmente los de largo radio, y un uso mayoritario de medios no motorizados. Un segundo atributo importante a la hora de definir un modelo sostenible es un *sistema de transporte público* eficaz y espacialmente equitativo, que favorezca la accesibilidad de la población a los recursos territoriales (más que su movilidad); dos objetivos importantes de ese sistema de transporte serán, por tanto, la interconectividad y la intermodalidad (tanto a escala intra como interurbana). Por último, en nuestra opinión, debe haber un *modelo urbano* caracterizado por la densidad y mezcla de uso - que minimice la necesidad de desplazamientos de largo radio - y por el bajo impacto ambiental y social de las infraestructuras de transporte, tanto en cuanto a ocupación del suelo como a impactos y efecto-barrera (Díaz et al., 2007). El Sistema de Indicadores se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Presentación general del Sistema de Indicadores.

Componente 1.- MOVILIDAD OBSERVADA	
Variables:	Desplazamientos no motorizados Desplazamientos en transporte público Medio de transporte según motivo Duración de los desplazamientos por motivo trabajo Duración media de los desplazamientos intra e interurbanos
Componente 2.- SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO	
Variables:	Dotación y calidad Distribución espacial: - Interconectividad - Accesibilidad - Intermodalidad
Componente 3.- MODELO URBANO	
Variables:	Densidad de población fragmentación del espacio urbanizado Mezcla de usos del suelo Impacto infraestructuras 1. <i>Consumo de espacio</i> Impacto infraestructuras 2. <i>Efecto barrera</i> Impacto infraestructuras 3. <i>Impacto social y ambiental</i>

Específicamente en esta comunicación nos referiremos a la evaluación del *transporte público* que se centra en su adecuación a la distribución espacial de población y funciones urbanas, y, además, trata de medir dos conceptos que se consideran clave en el nuevo paradigma del transporte sostenible: accesibilidad e intermodalidad.

Se utilizan los Sistemas de Información Geográfica, que permiten integrar la información espacial existente, posibilitando que, a través de la potencialidad inherente de relacionar los datos y atributos, y leer información resultante del cruce de diferentes capas temáticas, se obtengan los indicadores.

La integración de los datos en un Sistema de Información Geográfica permitió, en primer lugar, asegurar una buena correspondencia espacial entre las distintas capas temáticas de entrada y realizar, por tanto, un análisis realista de la distribución y relaciones espaciales entre distintas variables. Además, alcanzamos un mayor grado de precisión espacial en la distribución de la población y en los resultados derivados de ella. La reasigna-

¹ La modelación de los indicadores de movilidad y transporte partió del desarrollo de un Sistema de Indicadores, elaborado inicialmente para el proyecto de investigación titulado 'Crecimiento urbano y sostenibilidad en la Comunidad de Madrid. Una aproximación a los factores explicativos de los cambios recientes de usos del suelo' (CCG06-UAH/HUM-0670), financiado por la Conserjería de Educación de la Comunidad de Madrid y la Universidad de Alcalá y desarrollado por el Departamento de Geografía de la misma.

ción de la población entre diferentes unidades administrativas, como son la Sección Censal y las Zonas de Transporte, fue facilitada por las posibilidades de los SIG. Y por último, ese ambiente nos permitió realizar diversas mediciones de distancias, conectividad y cálculo de áreas de influencia de las paradas (realizados a través de la red viaria real) necesarios para elaborar algunos de los indicadores que se presentan a continuación. Los detalles de los principales procedimientos realizados con SIG serán expuestos en ese trabajo.

Fuentes de Información y Procedimientos de Análisis

Para elaborar los análisis del servicio de transporte público urbano la información sobre el tejido urbano de Alcalá (callejero, líneas de transporte y paradas de transporte público) fue imprescindible, así como distribución y características de la población (datos estadísticos demográficos a nivel de sección censal).

La información utilizada proviene principalmente del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid, cuyos datos de límites administrativos municipales y censales se utilizaron conjuntamente con sus datos estadísticos correspondientes, con fecha 2001. También se utilizó en ese trabajo el callejero digital y los portales de edificios (estos últimos actualizados a través de su portal web NOME CALLES). Del Consorcio Regional de Transporte se obtuvo el mapa digital de las Zonas de Transporte, en el que se integraron los datos de la Encuesta Domiciliaria de Movilidad de 2004, facilitados por ese mismo organismo. Por otra parte, a partir de sus planos de transporte intra e interurbanos de Alcalá de Henares (2003) fueron digitalizadas las paradas y las líneas de autobuses.

Modelación de los Indicadores de Transporte

En este epígrafe se describe, por una parte, el objetivo y definición de los indicadores correspondientes al segundo componente del sistema, y, por otra, la elaboración de los indicadores y la exposición de las tecnologías utilizadas y los procedimientos espaciales elegidos para calcular los indicadores.

Los indicadores de transporte público (ver tabla 2) recogen tanto aquellos que evalúan las condiciones del transporte público para la movilidad de la población (dotación y calidad del servicio), como los que están destinados a medir su aptitud para favorecer el acceso equitativo a la red (distribución de paradas en relación a la población y estructura de la red – eficacia, interconectividad –), o finalmente los que muestran las posibilidades de las distintas zonas de transporte para realizar desplazamientos intermodales (acceso directo o conexión con paradas interurbanas). Para más detalles técnicos sobre su diseño, se recomienda consultar el trabajo de Salado et al. (2006).

Se utilizaron herramientas de SIG, obteniendo los resultados a través de análisis espaciales, cruces de información, análisis de áreas de influencia, selección espacial, etc. A continuación, se exponen las principales aplicaciones espaciales, así como el procedimiento de obtención de algunos de los resultados. De la batería presentada previamente, se seleccionan los más interesantes en términos de modelación espacial.

Se eligen tres, por las características territoriales y los procedimientos espaciales utilizados durante su elaboración. El primero, *población con fácil acceso al autobús*, expresa la proporción de personas dentro de cada ZT que se encuentra a menos de 200 metros (a través de la red viaria) de cualquier parada de autobús. El segundo, el *índice de rodeo de la red de autobuses*, muestra la diferencia entre la distancia recorrida por los autobuses para llegar desde cada una a todas las demás ZT y la distancia que recorrería un automóvil privado en esos desplazamientos. Por último, se expone el cálculo del *grado de conectividad de la zona al Hospital*, dado por la distancia topológica (número de transbordos entre líneas) a través de la red de autobuses entre los centros de gravedad de cada ZT y el Hospital Universitario.

Para la ejecución de muchos de los análisis previstos, fue importante realizar algunos procesos previos con el objetivo de obtener los datos básicos a la unidad espacial deseada, como es la población, número de portales, paradas, etc. La mayor parte de los resultados fueron presentados en porcentaje respecto al total de la ZT, para evitar un desequilibrio espacial, ya que las Zonas de Transporte periféricas contienen menos paradas, menos población, las distancias son mayores, y de otra forma las ZT céntricas presentarían frecuentemente resultados dispares respecto al restante del territorio analizado. Se exponen tales procesos en los siguientes apartados.

Tabla 2. Indicadores del Sistema de Transporte Público.

	INDICADOR	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MEJOR
	Número de paradas de autobús	Paradas	Número de paradas de bus en cada Zona de Transporte	>
DOTACIÓN/CALIDAD	Paradas por línea a cada 1000 habitantes	Paradas por 1000 hab.	Número de paradas por línea de bus a cada 1000 habitantes	>
	Población con fácil acceso al autobús	%	Porcentaje de población dentro de cada ZT que se encuentra a menos de 200 metros (a través de la red) de cualquier parada de autobús	>
	Frecuencia de paso de autobuses urbanos	min.	Tiempos de espera medios en las paradas de una ZT (suma de intervalos de espera de cada línea que allí se detiene / n° de líneas)	<
ESTRUCTURA DE LA RED/ACCESIB.	Población con acceso a paradas múltiples	%	Porcentaje de población dentro de cada ZT que se encuentra a menos de 200 metros (a través de la red) de cualquier parada múltiple	>
	Índice de rodeo de la red de autobuses	metros	Diferencia entre la distancia recorrida por los autobuses para llegar desde cada una a todas las demás ZT y la distancia que recorrería un automóvil privado en esos desplazamientos	<
	Grado de conectividad de la zona a la Plaza Cervantes	Número de trasbordos	Distancia topológica (n° de trasbordos) a través de la red de autobuses entre el centro de gravedad de ZT y la Plaza Cervantes	<
	Grado de conectividad de la zona al Hospital	Número de trasbordos	Distancia topológica (n° de trasbordos) a través de la red de autobuses entre los centros de gravedad de cada ZT y el Hospital Universitario	<
INTERMODALIDAD	Población a menos de 500 m de parada interurbana	%	Porcentaje de población dentro de cada ZT que se encuentra a menos de 500 metros (a través de la red) de paradas interurbanas	>
	Población con acceso a conexión a paradas interurbanas	%	Porcentaje de población dentro de cada ZT que se encuentra a menos de 200 metros (a través de la red) de una parada urbana con conexión directa a paradas interurbanas	>

Población con fácil acceso al autobús

Como se ha comentado, representa la proporción de la población a una distancia máxima de 200 m de una parada de autobús, por Zonas de Transporte.

El uso del centroide de las secciones censales no tiene sentido para este cálculo; su nivel de detalle espacial es claramente insuficiente para posibilitar los análisis de distancia y dotación. La solución elegida fue distribuir la población de cada sección censal entre sus portales residenciales. Aunque de esa forma estamos obviando la diferente tipología de las edificaciones existentes dentro de una sección censal, se consiguió una resolución espacial más fina de la distribución de la población (estimada) y la corrección del importante sesgo que, de otra forma introducía la posición del centroide de las secciones periféricas (ver por ejemplo las ZT 001 ó 003 en la figura 1).

Otra adecuación de la base de datos fue la asignación de las paradas de transporte público a las Zonas de Transporte, ya que muchos estaban exactamente sobre las líneas divisorias de dos zonas. Para resolver esa situación, decidimos duplicar las paradas localizadas sobre los límites, aunque manteniendo un código común. De esa forma, tales paradas pueden ser consideradas para dos o más zonas de transporte (ya que el punto está duplicado y ubicado dentro de cada zona) e igualmente puede ser considerado como única parada a la hora de procesar las zonas de influencia y calcular población atendida (ya que estos análisis se realizan con base al código, que es único para dos puntos).

El primer paso para calcular la población con fácil acceso a autobús fue definir, para cada parada, un área de influencia de 200 m. El uso de las herramientas de análisis de redes nos permitió calcular esta área de influencia sobre la red viaria, y no como es comúnmente utilizado en un círculo perfecto y equidistante al punto central (*buffer*). Seguidamente, se calculó la suma de la población asignada a los portales situados dentro de alguna de las áreas de influencia y su relación porcentual con el total de la población de cada ZT.

Para los portales que se situaban dentro de más de un área de influencia, se realizó un análisis específico al asignar su población a la parada más próxima, con el análisis de la menor distancia entre dos capas. Esa decisión tiene limitaciones al suponer que la parada más próxima pertenece a la línea que ese usuario pretende tomar, lo cual resulta, indudablemente, una simplificación quizá excesiva del problema, pero quizá suficiente para hacer una primera aproximación al nivel de dotación por ZT.

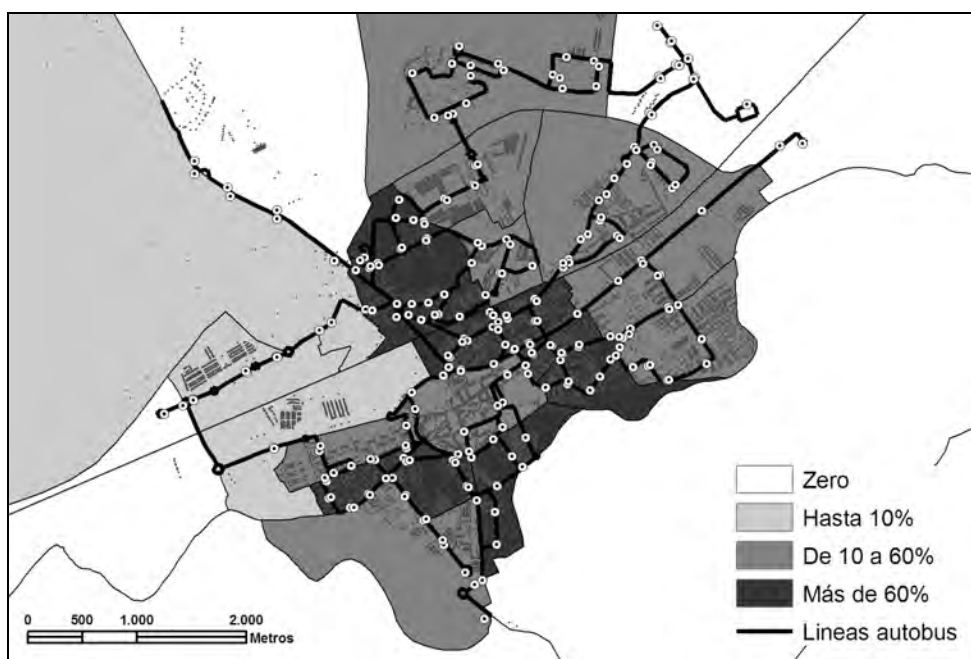


Figura 2. Población con fácil acceso a autobús (distancia inferior a 200 m)

Tras los cálculos y transformaciones pertinentes se trabajó con estimaciones de población a nivel de portal, lo que permitió, por ejemplo, una valoración más ajustada de la población residente a determinada distancia de una parada de autobús o ferrocarril urbanos. Análisis similares se repitieron para el cálculo de otros indicadores, como la *población con acceso a paradas múltiples*, *población a menos de 500 m de parada interurbana* y *población con acceso a conexión a paradas interurbanas*.

Índice de rodeo de la red de autobuses

Se define por la diferencia entre la media de la distancia recorrida por los autobuses para llegar desde cada una de las ZT a todas las demás y la media de la distancia que recorrería un automóvil privado en esos desplazamientos.

En primer lugar, es importante recordar que, una vez que los resultados deben seguir una misma unidad de representación, se decidió utilizar las Zonas de Transporte como unidad de análisis final. Teniendo eso en consideración, queda claro que trabajar con polígonos tan heterogéneos en cuanto a la extensión (como son las ZT) acarrea una dificultad al realizar cálculos según distancias en general. Para eso, se optó por calcular los centros de gravedad ponderados como puntos más representativos de cada uno de esos polígonos (ZT) en sustitución de

los clásicos centróides, en ocasiones muy alejados de la localización real de la población. El cálculo se realizó sobre los portales de cada ZT, con la población estimada en cada uno de ellos.

Posteriormente, con la extensión *Network Analyst* de ArcGIS, fue posible generar las distancias de todas las ZT hacia todas bien a través del viario general, bien a través del subconjunto de vías utilizadas por los autobuses públicos (red simplificada, ver figura 3). Totalizadas las distancias calculadas desde cada ZT y obtenida la media en los dos supuestos mencionados, se calculó la diferencia entre ambos, obteniendo así un índice de rodeo.

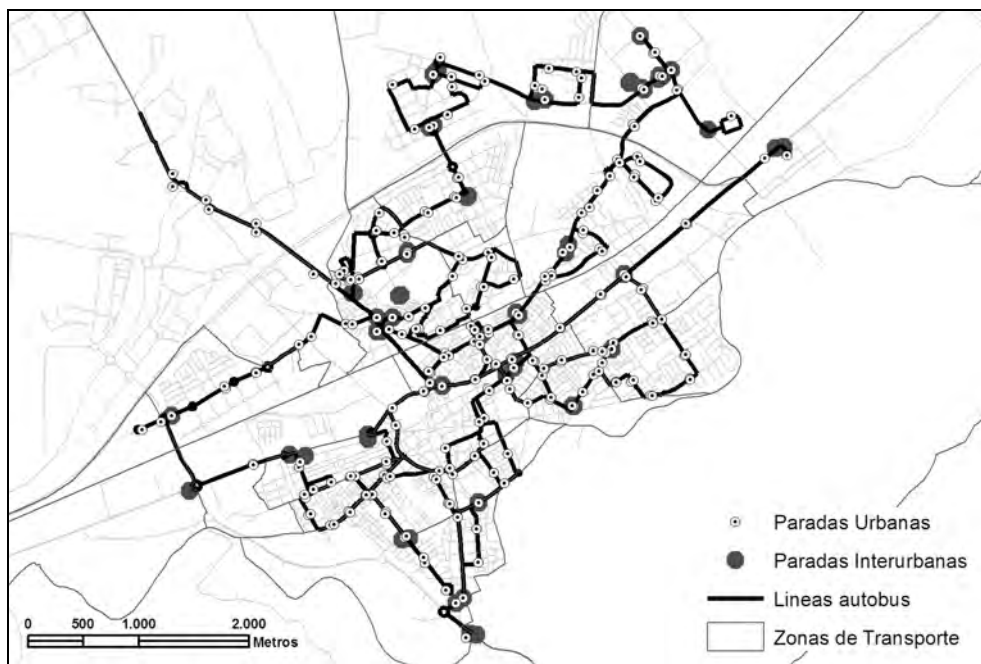


Figura 3. Mapa de la Red de Transporte Público en Alcalá de Henares

Aunque el cálculo nos permite evaluar el índice de rodeo de autobuses, la no consideración del sentido de circulación de los tramos (datos no existentes) al realizar los análisis por la red puede haber influenciado el resultado al ignorar pequeñas diferencias en las distancias.

Grado de conectividad de la Zona de Transporte al Hospital

Representa la distancia topológica, calculada según número de trasbordos, a través de la red de autobuses entre los centros de gravedad de cada ZT y el Hospital Universitario (situado en la ZT 004 y cercano a una de las paradas interurbanas de ese sector NE de la ciudad, figura 3 y 4). El hospital es un equipamiento sanitario importante, situado, como en tantos otros casos, en la periferia de la ciudad; la fácil accesibilidad al mismo a través de la red de transporte público puede representar un mayor nivel de sostenibilidad social.

Como el cálculo es respecto a tomar una, dos o más líneas para llegar al destino, la información que importa es qué línea pasa en qué paradas. Con una simple selección espacial se puede obtener este dato. Posteriormente, fue necesario seleccionar todas las paradas que presentasen las líneas que llevan al hospital (en este caso, son dos), y consecuentemente clasificar sus ZT como grado 1 (conectividad directa). Después, se seleccionaron las paradas con múltiples líneas, donde por lo menos una de ellas fuese las que llevan al hospital. Así fue posible asignar a las zonas todavía no clasificadas, y que contuviesen esas paradas, con grado 2 (cuando es necesario tomar dos autobuses para llegar al destino). A las restantes se asignó grado 3, que indica la peor accesibilidad, una vez que, para una ciudad de la extensión de Alcalá de Henares, es negativo depender de más de dos líneas para acceder a cualquier punto. El resultado espacial de ese indicador se presenta en la Figura 4, junto a la representación de las paradas de autobuses urbanos.

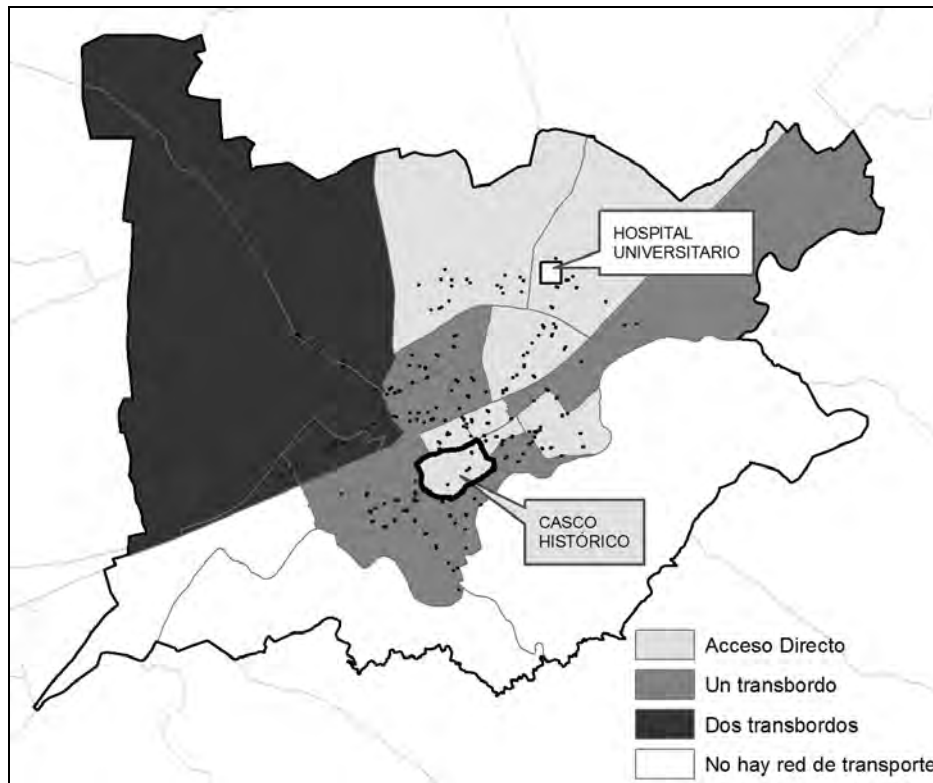


Figura 5. Grado de Conectividad de la Zona de Transporte al Hospital

Un cálculo idéntico se realizó para procesar el indicador de grado de conectividad de las Zonas de Transporte a la Plaza Cervantes, área central de la ciudad, y podría realizarse para cualquiera de los centros de actividad, centros comerciales o de ocio que pudieran considerarse relevantes.

RESULTADOS

Los Sistemas de Información Geográfica facilitan considerablemente el cálculo de indicadores de amplia utilidad para la evaluación y planificación espacial y el transporte público, aspectos ambos que en la actualidad tienden a encuadrarse dentro del paradigma de la sostenibilidad.

Desde de la perspectiva de la evaluación del modelo urbano actual, se percibe que los mejores niveles dotacionales se encuentran situados en la parte central de la ciudad, donde también encontramos un alto número de paradas (en muchas de las Zonas de Transporte por encima de 15 y en algunas hasta de 35). Estos resultados concuerdan, en general, con una estructura de la red eminentemente radial, en la que ocho de las once líneas existentes pasan por la plaza central del casco histórico (Plaza Cervantes) o sus inmediaciones. Destacan también el desarrollo de la red hacia el NE, para dar servicio al Hospital y al Campus Universitario.

Los SIG permitieron modelar índices que apuntan al análisis de las oportunidades acumuladas y, en este sentido, la localización de las paradas parece responder a un lógico criterio de máxima cobertura. Excepto en dos de ellas, en todas las ZT habitadas el porcentaje de población que vive a menos de 200 m de una parada de autobús se eleva siempre por encima del 40%, llegando en algunos casos a ser más del 80%. Las notables excepciones son en dos zonas al norte de la ciudad – la Garena (ZT 008) y el Ensanche (010) –; ambas forman parte de los nuevos desarrollos residenciales de la ciudad, destinados a población con rentas medio-altas. Como cabe esperar, los porcentajes más altos corresponden a zonas de la ciudad con elevadas densidades de población, la mayoría de ellas barrios construidos durante los años 60 a 80 y en cuyas viviendas de menor calidad se está

dando un fenómeno de sucesión social en el que los nuevos inmigrantes sustituyen a los antiguos residentes, llegados allí en las décadas del desarrollismo.

Semejante distribución de valores observamos en el indicador que tiene en cuenta solamente las paradas múltiples. Los mayores porcentajes de población con fácil acceso (menos de 200 metros) a una parada múltiple se siguen dando en barrios de bloques en altura de la ciudad previa a los últimos desarrollos urbanísticos. Como era de esperar, estos alcaláinos tienen mayor accesibilidad a los recursos de la ciudad. De nuevo nos encontramos con las ventajas e inconvenientes de una configuración de la red básicamente radial: cerca del centro se entrecruzan varias líneas, mientras a los barrios periféricos llegan solamente los extremos de esa red.

La incorporación de análisis de redes a los SIG potencia los índices referentes a la eficiencia teórica y real de la red, desde esta perspectiva, la medición de la diferencia de distancias recorridas entre ZT a través del viario y a través de la red de transporte público, permitió calcular el rodeo que dan los autobuses (red simplificada) para ir desde cada Zona de Transporte a todas las demás, comparando esa distancia con la que se recorrería en coche o a pie (viario completo); en ambas redes se utilizan los caminos mínimos entre los centros de gravedad ponderados de las ZT. El resultado muestra índices de rodeo muy altos los barrios más periféricos de la corona norte de la ciudad. En los barrios centrales, sin embargo, el rodeo es mínimo debido a la densidad de líneas de transporte urbano que se entrecruzan en esa zona. La escasa distancia entre paradas de distintas líneas explica que los usuarios puedan fácilmente elegir aquella línea que los acerca a la parte de la ciudad deseada sin trasbordos y sin desviarse demasiado del camino óptimo que recorrerían en coche o andando. No obstante, hay que tener presente que la máxima eficacia (trazado de las líneas de autobús lo más próximo posible a la recta) contradice en este caso la equidad (un trazado más sinuoso puede acercar las paradas a una porcentaje mucho mayor de población) y que eficiencia y equidad espaciales son atributos deseables de un sistema de transporte público competitivo, por lo que será necesario buscar una solución compromiso entre ambas.

La representación del número de transbordos necesario para alcanzar puntos neurálgicos de la ciudad parece también un factor relevante que puede decantar la decisión de algunos usuarios por el transporte público o por el vehículo privado. Según los resultados obtenidos, desde diecisiete de las diecinueve ZT residenciales puede llegarse a la plaza central de la ciudad (Plaza de Cervantes) sin realizar transbordo alguno; los residentes en las otras dos deberían realizar un único transbordo. Vuelve a ponerse de manifiesto esa estructura netamente radial de la red de transporte público en Alcalá de Henares. El mismo análisis con respecto al acceso al Hospital Universitario Príncipe de Asturias, situado en el Campus externo de la Universidad es diferente. Sólo las zonas de transporte situadas entre el centro y el propio Campus pueden acceder sin trasbordos a la instalación. Las demás tendrían que tomar dos o tres autobuses diferentes, con los consiguientes inconvenientes económicos y de tiempo invertido en el desplazamiento.

Desde el punto de vista de la intermodalidad, con un umbral de 500 m como distancia máxima razonable a la que debería situarse una parada de transporte público interurbano de cualquier domicilio, los resultados muestran que una parte muy significativa de la población de Alcalá tiene fácil acceso a una parada de estas características. Prácticamente más de un 40% de la población vive a menos de esa distancia de las paradas interurbanas que conectan Alcalá con otras localidades de su entorno, preferentemente Madrid y otras grandes poblaciones del Corredor del Henares. La población de las zonas mencionadas podría desplazarse hacia ZT contiguas en las que sí existe tal servicio.

Al respecto de los resultados del porcentaje de población en cada ZT que se encuentra a menos de 200 m, a través de la red, de una parada urbana con conexión directa a paradas interurbanas, permite considerar que las paradas interurbanas están bien distribuidas espacialmente, ya que todas las líneas de autobuses urbanos tienen alguna conexión con paradas interurbanas. Esos resultados parecen indicar, por tanto, que el diseño actual de la red urbana e interurbana de autobuses en Alcalá de Henares facilita el transporte intermodal.

En la siguiente fase de este trabajo de investigación, está prevista – una vez se hayan mejorado las deficiencias que presentan actualmente algunos indicadores – el replanteamiento del sistema de indicadores de sostenibilidad para aplicación a una escala regional o subregional, como es el caso de la Comunidad de Madrid y el área metropolitana de Granada.²

² Proyecto de investigación titulado ‘SIMURBAN – Análisis y simulación prospectiva mediante Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) del crecimiento urbano actual. Evaluación de su sostenibilidad’ (Ref. SEJ2007-66608-C04-

CONCLUSIONES

La operacionalización del concepto de desarrollo sostenible no es, sin duda, sencilla. No obstante, si más que como una meta fijada a alcanzar – difícil de definir y aún más de consensuar –, lo entendemos como ‘modo de hacer el viaje’, como una idea-fuerza para apalancar un giro importante en nuestra relación con el entorno natural y con nuestros semejantes, los sistemas indicadores de sostenibilidad pueden tener grandes ventajas. Dado que los indicadores han de ser comprensibles y fáciles de interpretar, son por ello discutibles, confrontables por la ciudadanía, y quizá sólo tras ese proceso de implicación activa, asumibles como retos a alcanzar. Por otro lado, dado que han de ser exactos y verificables, permitirían orientar e iniciar la marcha. Un buen sistema de indicadores de sostenibilidad puede ser, en definitiva, un buen instrumento para salvar la creciente brecha entre el conocimiento tecnocrático y la sociedad, paralizada ante la aparentemente insalvable complejidad de la llamada crisis ambiental.

Por otra parte, los territorios reflejan la compleja interacción entre la herencia histórica, las demandas y los valores actuales; en ellos confluyen acciones humanas de distinta índole y factores físico-naturales. Los conflictos o las sinergias así desatados nos están llevando al convencimiento de los modelos territoriales deben ser evaluados desde el punto de vista de la sostenibilidad. Hace ya algunos años que son frecuentes las reflexiones sobre la necesidad de ordenar conjuntamente la ocupación del suelo y el transporte en áreas urbanas y metropolitanas. Creemos que en esta línea (sistemas de indicadores con un claro enfoque territorial) pueden ensayarse aún estrategias integradoras más efectivas (Salado et al., 2008).

El sistema de indicadores que aquí presentamos parcialmente trata de ser un primer paso en este sentido. Los SIG pueden resultar aliados interesantes en los intentos de evaluar la sostenibilidad de distintos fenómenos territoriales, no sólo para integrar y analizar conjuntamente datos procedentes de fuentes muy diversas (en esta comunicación hemos tratado de destacar esta faceta), sino para la difusión y discusión de los resultados obtenidos y en la implicación más activa de la sociedad en la adopción de estrategias más sostenibles.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a profesora y compañera María Ángeles Díaz Muñoz que ha iniciado y cooperado inmensamente en ese proyecto y que, aun no estando entre nosotros ya, nos sigue inspirando y motivando para que demos continuidad a su incesante labor de investigación en el ámbito de la sostenibilidad territorial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Europea del Medio Ambiente (2005): *Sistema de indicadores para el seguimiento del transporte y el medio ambiente (TERM)* http://themes.eea.eu.int/Sectors_and_activities/transport/indicators (consultado mayo, 2005).
- Agencia Europea del Medio Ambiente y Ministerio de Medio Ambiente (1998): *Medio Ambiente en Europa. El informe Dobris*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente de España. Edición original, 1995.
- Camagni, R., Gibelli, M. C. y Rigamonti, P. (2002): Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion, *Ecological Economics*, 40: 191-216.

- Comisión Europea (2000): *Hacia un perfil de la sostenibilidad local. Indicadores comunes europeos*. Luxemburgo, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Díaz Muñoz, M.A., Cantergiani, C.C., Rojas Quezada, C. y Salado García, M. J. (2007): Propuesta de un sistema de indicadores de sostenibilidad para la movilidad y el transporte urbanos. Aplicación mediante SIG a la ciudad de Alcalá de Henares. *Cuadernos de Geografía de la Universidad de Valencia*, 81-82: 31-49.
- Díaz Muñoz, M. A., Rodríguez Moya, J. M. y García Palomares, J. C. (2006): Desplazamientos laborales y género en la Comunidad de Madrid a partir del Censo de Población de 2001. Algunas consideraciones temáticas y metodológicas. *X Congreso de la Población Española (Tema: Migraciones, movilidad y territorio)*. Pamplona, Grupo de Población de la Asociación de Geógrafos Españoles.
- Gilbert, R., Irwin, N., Hollingworth, B. y Blais, P. (2002): *Sustainable Transportation Performance Indicators*, Centre for Sustainable Transportation, <http://cst.uwinnipeg.ca/documents/STPI%20Phase%203%20report.pdf> (visitado en mayo 2008).
- Fariña, J. y Pozueta, J. (1998): La movilidad en los tejidos residenciales del suburbio disperso. *Urban*, 2.
- Gudmundsson, H. (2003): Dar a los conceptos la importancia que les corresponde. Movilidad sostenible y sistemas de indicadores en la política de transporte. *Revista Internacional de Ciencias Sociales*, 176: 26-52.
- Gudmundsson, H. (2001): *Indicators and performance measures for Transportation, Environment and sustainability in North America*, Ministry of Environment and Energy, National Environmental Research Institute. http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_arbrapporter/default.asp
- Gutiérrez Puebla, J. (2004): El Tren de Alta Velocidad y sus efectos espaciales. *Investigaciones Regionales*, 5: 199-121.
- Gutiérrez Puebla, J. y García Palomares, J. C. (2005): Cambios en la movilidad en el área metropolitana de Madrid: el creciente uso del transporte privado. *Anales de Geografía*, 25: 331-351.
- Gutiérrez Puebla, J., Pinto, C. y Gómez, G. (2000): Accesibilidad peatonal a la red de metro de Madrid: efectos del Plan de Ampliación 1995-99. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 20: 451-464.
- Kwok, R.C.W. y Yeh, A.G.O. (2004): The use of modal accessibility as an indicator form sustainable development. *Environment and Planning A*, 36: 921-936.
- Litman, T.A. (2005): *Sustainable Transport Indicators*, Victoria, Canadá, Victoria Transport Policy Institute www.vtpi.org
- Moreno, A. y Prieto, M. E. (2003): Evaluación de procedimientos para delimitar áreas de servicio de líneas de transporte urbano con Sistemas de Información Geográfica. *Investigaciones Regionales*, 2: 85-102.
- Nunes Da Silva, F. (2001): Políticas de transportes para um ambiente urbano sustentable. *Actas dos VII Cursos Internacionais de Verão de Cascais*, Vol. 2. Cascais, Cámara de Cascais.

- O'Sullivan, D., Morrison, A. y Shearer, J. (2000): Using desktop GIS for the investigation of accessibility by public transport: an isochrone approach. *International Journal of Geographical Information Science*, 14 (1): 85-104.
- Pozueta, J. y Ojaguren Méndez, S. (2005): Situación y perspectivas de la movilidad en las ciudades. Visión general y el caso de Madrid. *Cuadernos de Investigación urbanística*, 45. 88 pp. Escuela Técnica Superior de Arquitectura, UPM. http://www.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/public/ciu/num/ciu_45.html
- Salado García, M. J., Díaz Muñoz, M. A., Bosque Sendra, J., Carvalho Cantergiani, C., Rojas Quezada, C.; Jiménez Gigante, F. J., Barnett, I., Fernandes Mourão, C. y Muñoz Rueda, C. (2006): Movilidad sostenible y SIG. Propuesta de evaluación del transporte público en Alcalá de Henares. En: Camacho, M. T., Cañete, J. A. y Lara, J. J. (Eds.), *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas* (CD), Grupo de Tecnologías de la Información Geográfica de la Asociación de Geógrafos Españoles y Universidad de Granada, Granada, pp.: 1777-1794.
- Salado García, M. J., Rojas Quezada, C. y Cantergiani, C.C. (2008): Modelos Territoriales y Sistemas de Indicadores de Sostenibilidad. Valoración crítica de algunas experiencias concretas. *Serie Geográfica*, 14 (en prensa).
- SUMMA. *Sustainable Mobility, policy Measures and Assessment* <http://www.summa-eu.org/> (consultado mayo, 2006).

Caturla Montero, Cristina; Hermosilla Carrasquilla, Aurora; García Hernando, Antonio y Vallejo Barceló, Félix (2008): La recuperación con nuevas tecnologías de los cálculos tradicionales: la red andaluza de posicionamiento y la delimitación municipal. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 239-247. ISBN: 978-84-96971-53-0.

LA RECUPERACIÓN CON NUEVAS TECNOLOGÍAS DE LOS CÁLCULOS TRADICIONALES: LA RED ANDALUZA DE POSICIONAMIENTO Y LA DELIMITACIÓN MUNICIPAL

Caturla Montero, Cristina¹; Hermosilla Carrasquilla, Aurora²; García Hernando, Antonio³ y Vallejo Barceló, Félix⁴

(1) Instituto de Cartografía de Andalucía. c/ San Gregorio, 7. 41004 Sevilla cristina.caturla@juntadeandalucia.es

(2) Instituto de Cartografía de Andalucía. c/ San Gregorio, 7. 41004 Sevilla aurora.hermosilla@juntadeandalucia.es

(3) Instituto de Cartografía de Andalucía. c/ San Gregorio, 7. 41004 Sevilla josea.garcia@juntadeandalucia.es

(4) Oficina de Control de Calidad de Demarcación Municipal. ICA. c/ San Gregorio, 7. 41004 Sevilla fvallejo@tragsa.es

RESUMEN

Para que las distintas Administraciones Públicas puedan ejercer sus competencias necesitan disponer de una delimitación precisa de su ámbito. Hacia 1870 se inician en Andalucía las primeras tareas de delimitación municipal, recogiendo en Actas de Deslinde los Acuerdos a los que llegaban las Comisiones de los Ayuntamientos implicados. Unos años después y ligados a los trabajos iniciales del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000 el entonces Instituto Geográfico y Estadístico aborda los Levantamientos Topográficos de las líneas límite acordadas junto con la elaboración de Planimetrías y Altimetrías a escala 1:25.000 de los términos municipales. Más de un siglo después, el Instituto de Cartografía de Andalucía se plantea recrear aquellas condiciones de trabajo y replantear sobre el terreno las líneas límite descritas en las Actas de Deslinde con la finalidad de dotar a los mojones localizados de coordenadas precisas en el Sistema Geodésico de Referencia actual (ETRS89). Para ello, ha sido necesario realizar una importante labor de análisis de los documentos históricos existentes, reconstruir el Sistema de Referencia utilizado en aquellos momentos y, finalmente, repetir los trabajos topográficos utilizando las técnicas más modernas de toma de datos.

Palabras Clave: Acta de Deslinde, Sistema Geodésico, replanteo, líneas límite.

ABSTRACT

For the different Publics Administrations could exercise its competitions they need to have a precise delimiting of their area. About 1870 was initiated in Andalusia the first tasks of municipal demarcation, gathering in Acts of Demarcation the Agreements to arriving the municipal Commissions of the councils involved. A few years later and linked to the initial work of National Topographic Map 1:50.000 in this moment the Geographic and statistical Institute addresses the topographical uplifting of the boundary lines agreed, with the development of the planimetry and altimetry of municipal demarcation at scale 1:25.000. More than a century later, the Cartography Institute of Andalusia arises recreate those working conditions and redefine on the ground the boundary lines described in the Acts of Demarcation with the aim of giving the precise coordinates from mojones located in the Geodetic System of Reference current. It has been necessary to make an important work of analysis of existing historical documents, rebuild the Reference System used at that time, and finally to repeat the topographic work using the most modern techniques of data capture.

Key Words: Acts of demarcation, Geodetic system of Reference, municipal demarcation.

INTRODUCCIÓN

La Delimitación Municipal o Demarcación Municipal es, sin duda, una de las cuestiones administrativas y políticas con mayor reflejo en la realidad territorial. Según el artículo 137 de la Constitución Española “el Estado se organiza territorialmente en municipios, provincias y en la Comunidades Autónomas que se constituyan”. Complementariamente la Ley 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases de Régimen Local establece que “el término municipal es el territorio en el que el Ayuntamiento ejerce sus competencias”. Los conflictos entre Ayuntamientos producidos por la falta de acuerdo en la definición de sus límites son frecuentes a lo largo de la historia. No son raros los procesos solucionados legalmente a finales del siglo XX y principios del XXI cuyos antecedentes se remontan al siglo XVI.

Lógicamente, estos conflictos territoriales quedan recogidos en la cartografía producida por los diversos organismos encargados de la misma. Un somero estudio comparativo de los límites administrativos utilizados en el Mapa Topográfico Nacional 1:50.000, el Mapa Topográfico 1:25.000 del Ejército o el Mapa Topográfico de Andalucía 1:10.000 demuestra profundas diferencias que se traducen en dificultades para los usuarios.

Como resultado de la experiencia adquirida por el Instituto de Cartografía de Andalucía y también, para dar respuesta a las labores de peritaje topográfico que en cuestiones de Demarcación Municipal le solicita la Consejería de Gobernación, se pone en marcha un proyecto de gran envergadura cuya finalidad es dotar de coordenadas precisas en el Sistema Geodésico ETRS89 a los mojones que conforman las líneas límite.

Los trabajos se iniciaron a finales de los años 90 dando respuesta a las solicitudes de los Ayuntamientos recibidas en la Consejería de Gobernación. Poco a poco, fue tomando forma la idea de abordar la Delimitación Municipal de manera sistemática. Así, desde 2005 es una línea de trabajo estable dentro del ICA.

En un primer momento, el problema de la demarcación municipal se abordó básicamente como un análisis en gabinete de la documentación histórica. Fue al tomar contacto con las Actas y Cuadernos y al comprender que prácticamente cada línea era un caso único y particular, cuando se produjo un salto cualitativo en la forma de analizar la cuestión: quedaba patente la necesidad de traspasar a la realidad actual la forma de actuar y proceder de aquellos laboriosos topógrafos. Era imprescindible pues un cuidadoso trabajo de campo. Pero para poder abordar dicho trabajo de campo con éxito las tareas previas de gabinete debían hacerse con gran cuidado y conocimientos topográficos y geodésicos. Como resultado, se fueron ensayando diversos procesos metodológicos, pulidos poco a poco hasta que finalmente en el 2007 se dio por concluido el proceso de análisis y ensayo y se pasó a la producción con una metodología cerrada y homogénea, que es la que se expone en este documento.

OBJETIVO

El objetivo de los trabajos es el replanteo de las líneas límite de Andalucía, recreando las condiciones técnicas utilizadas en su momento para poder dar coordenadas precisas en el Sistema Geodésico de Referencia ETRS89 y trasladar a la realidad geográfica actual el trazado de la línea entre mojones. Se trata de un proyecto muy ambicioso: son 2.450 líneas límite que representan unos 20.300 km que hay que recorrer cuidadosamente.

Una línea límite queda definida por los mojones o hitos que la forman y la línea que los une. Los mojones iniciales y finales normalmente están compartidos por dos términos más por lo que se les conoce como Mojón Tres Términos. La materialización física del mojón varía mucho y normalmente va ligada a los materiales existentes en la zona. Por ejemplo, en la campiña cordobesa suelen ser (o mejor dicho, eran) montones de tierra mientras que en zona de montaña más pedregosas eran montones de piedra cubiertos incluso con argamasa. También era frecuente la utilización de una piedra natural destacable en el terreno. La línea que los une normalmente se corresponde con un elemento físico bien definido (río, linde o camino) pero son numerosos los casos en que se corresponden con una divisoria de aguas o una línea recta. La transposición a la realidad actual se complica puesto que el territorio no es inalterable. Todo lo contrario, se han producido importantes cambios que cuestionan el trazado de las líneas definidas hace ya más de un siglo. Los ríos han variado su trazado, el hombre ha modificado la geografía de los lugares convirtiendo caminos en autovías o encauzando y alterando el trazado de los ríos. Incluso los elementos puntuales como los mojones han desaparecido o se han movido.



Figura 1. Ejemplo de mojón en la línea de Laroya y Purchena

METODOLOGÍA

Recopilación y análisis de la información disponible

Esta primera fase del trabajo es básicamente una tarea de recopilación histórica. La información inicial necesaria para el estudio de una línea límite es muy abundante y variada. Se podría clasificar en dos grandes grupos. Por una parte, la información específica de cada línea o relativa a un término municipal en concreto y por otro lado, documentación complementaria y general pero no por ello menos valiosa.

El levantamiento topográfico de las líneas límite se inicia a mediados del siglo XIX como resultado de dos proyectos intrínsecamente ligados y relacionados. Primero, el deseo por parte de los Ministerio de Hacienda y de Gobernación, y materializado en una serie de Leyes y Decretos, de que los Ayuntamientos conocieran y definieran exactamente sus límites administrativos con fines estadísticos y, lógicamente, económicos. Y segundo, la labor cartográfica llevada a cabo a lo largo de ese siglo y que culmina en las primeras tareas de elaboración del Mapa Topográfico de España 1:50.000.

Así pues, a partir de 1870 se inicia en Andalucía el levantamiento sistemático de las líneas límite. De cada una de ellas se dispone de las Actas de Reconocimiento de la Línea de Deslinde realizadas por una Brigada del Instituto Geográfico y Estadístico a la que acompañaban, según la norma establecida, una Comisión de Deslinde de cada uno de los Ayuntamientos implicados. Se recorría la línea describiendo físicamente cada uno de los mojones así como su localización geográfica y se hacía una descripción literal del trazado de la línea. Esta Acta era firmada tanto por el Jefe de la Brigada como por los Comisionados de los municipios. Hasta el día de hoy, a no ser que se haya redactado y firmado una nueva Acta, este es el único documento con valor legal. Las particularidades encontradas en estos documentos son múltiples: desde el acuerdo en todos los mojones y trazado de la línea hasta la ausencia de firma de uno de los municipios por su absoluto desacuerdo. También existen casos de desacuerdos parciales, básicamente en el transcurrir de una línea entre mojones, problema que era solventado trazando la línea recta entre ellos puesto que no hay que olvidar que uno de los fines de este trabajo era el económico.

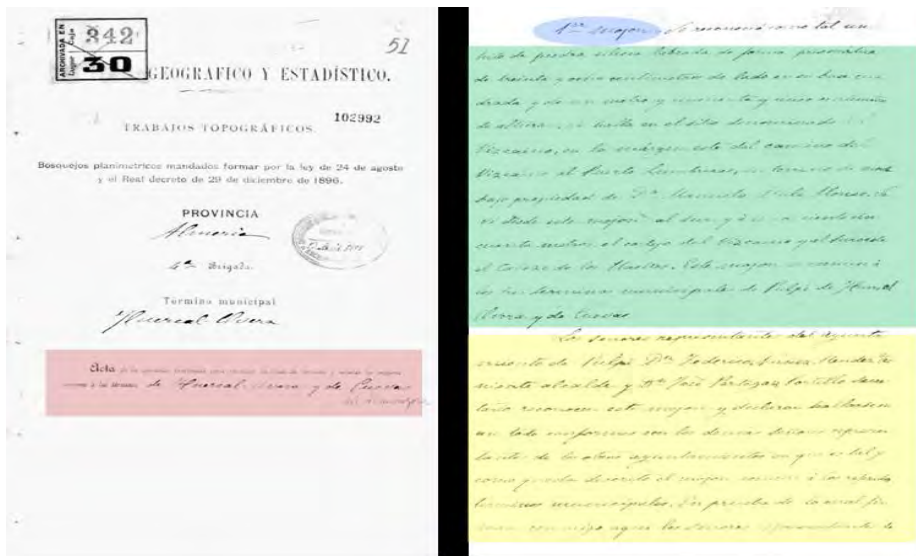


Figura 2. Acta de Deslinde Huércal Overa y Cuevas de Almanzora

En paralelo o más frecuentemente algún tiempo después se realizan los Levantamientos Topográficos de la línea límite recogida en el Acta así como planimetrías y altimetrías a escala 1:25.000 y planos de población de los términos municipales afectados dentro del proyecto de generación del Mapa de España 1:50.000. Para levantar esta información se precisaba de una Red de Triangulación Municipal, cuyas reseñas están disponibles. Esta Red estaba formada por los vértices geodésicos de la Red Antigua y completada con un número variable de vértices elegidos y monumentados por la propia Brigada. Lógicamente la calidad de esta documentación varía desde unos trabajos de campo muy minuciosos y perfectamente calografiados a aquellos que son meros esbozos y prácticamente ilegibles.

Itinerario geodésico núm. 4 (Empieza en el MPT cercano a Taberno y Huércal Overa y termina en el MPT cercano a Taberno y Huércal Overa)

Estación	Puntos observados	NÚMROS		Lectura en la Mira	Distancia horizontal	ÁNGULOS DE		DIRECCIONES	
		N	S			Depresión	Elevación	-	+
1	2	129 45'	9 45'	2.6		9 21'			
2	1	9 45'	129 45'	2.6		3 24'	23'		
3	2	227 17'	42 17'	12		3 19'			
4	3	47'	227'	12		3 19'	23'		
5	4	199 21'	12 21'	16.5'		3 11'			
6	5	17 11'	199 41'	15.7'		3 12'			
7	6	27 11'	27 11'	9.22.6		3 43'			
8	7	27 11'	27 11'	9.11.6		3 43'			
9	8	127 14'	127 14'	9		3 10'			
10	9	227 14'	127 14'	9		3 41'			
11	10	12 14'	11 14'	18.8		3 14'			
12	11	11 14'	11 14'	18.8		3 24'			
13	12	165 45'	365 45'	8.11'		1 49'			
14	13	187 14'	1 14'	18.1	16.75'	1 17'		4.75'	
15	14	187 14'	187 14'	18.1		11 18'			
16	15	310 45'	36 45'	12.11'	4.9	3 14'		4.75'	
17	16	30 45'	310 45'	12.11'		3 14'			
18	17	25 1'	14 1'	14.11'		1 43'		1.19'	
19	18	31'	25 1'	14.11'		1 43'			
20	19	299 15'	149 15'	112.9		112'		4.29'	3.18'
21	20	149 15'	299 15'	112.9		4.29'			
22	21	172 15'	372 15'	76.6	66	30 14'		2.11'	
23	22	372 15'	172 15'	76.6		20 12'			

Determina punto de la Línea de los Puntos... entre Taberno y Huércal Overa

CROQUIS Y NOTAS

Figura 3. Cuaderno de Campo de la Línea Huércal Overa y Cuevas de Almanzora

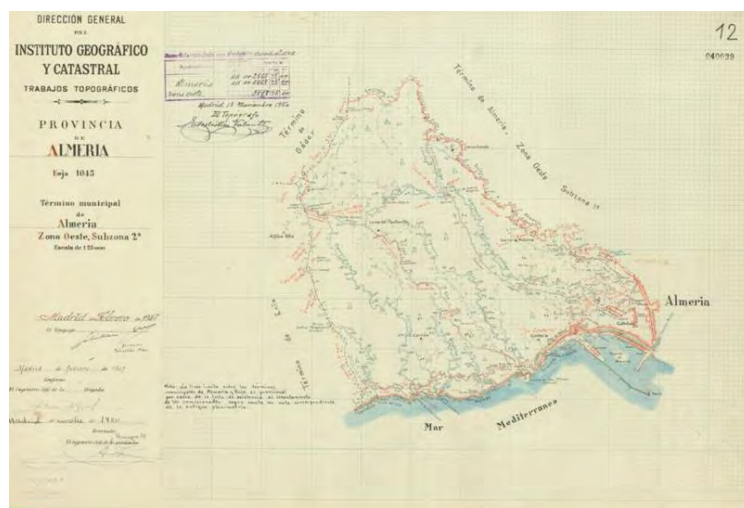


Figura 4. Planimetría 1:25.000 del término municipal de Almería

En el segundo bloque de información arriba indicado podemos destacar la Ortofotografía digital del llamado vuelo americano de 1956 realizada por la Junta de Andalucía y que se convierte en la imagen del territorio más cercana al momento en que se realizaron los trabajos de deslinde. Se dispone también de la primera edición del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000, de gran riqueza y detalle.

Obviamente se necesita también información del territorio en la actualidad para lo que se recurre a la cartografía actual disponible como son las distintas ortofotografías producidas por la Junta de Andalucía y las versiones existentes del Mapa Topográfico de Andalucía 1:10.000 así como del Mapa Base de Andalucía 1:5.000/1:10.000.

Trabajos previos en gabinete

Para entender las primeras fases de la metodología utilizada no hay que olvidar que el proceso se basa fundamentalmente en la recreación del escenario en el que se llevó a cabo el reconocimiento de cada línea. Por ello, es necesario definir el marco geodésico utilizado. En 1852 se inicia en España la construcción de la llamada Red Geodésica Antigua, terminada de construir y de observar en la década de 1930. Se definió un Sistema de Referencia Geodésico (SRG) local con los siguientes parámetros: Datum geodésico Madrid y elipsoide de referencia Struve (1860). Gracias a una serie de proyectos de colaboración internacional y a la aparición del ordenador, ochenta años después el Army Map Service realiza el primer ajuste dotando a dichos vértices de coordenadas en el SRG también local ED50 (Datum Europeo Potsdam y el elipsoide Internacional de Hayford).

Tal y como se ha indicado anteriormente, para cada término municipal se estableció una Red de Triangulación. Las coordenadas de estos vértices están calculadas en un sistema de referencia local con un origen de coordenadas arbitrario para cada término municipal, con el único dato común de estar orientados al norte geográfico. El primer paso es, por tanto, encajar cada Red municipal en la Red Geodésica Antigua para poder dotar a cada vértice de sus coordenadas en el SGR ED50.

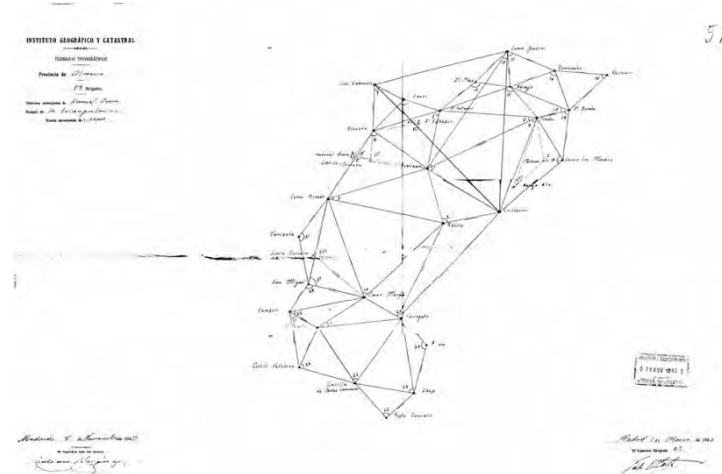


Figura 5. Red de triangulación municipal de Huércal Overa

El siguiente paso consiste en desarrollar los itinerarios que el IGN realizó en su día para cada línea. A partir de la descripción literal recogida en las Actas de Deslinde y de las observaciones y medidas recogidas en los Cuadernos de Campo se recalcula la línea para determinar la posición de los mojones. Hay que diferenciar entre itinerario y línea límite. El equipo de topógrafos que estaba trazando la línea no siempre podía ir exactamente por donde transcurría dicha línea límite. Las causas eran variadas: por meras razones físicas (un río) o por limitaciones de las observaciones y de los aparatos existentes en aquella época que les obligaba a elegir un mayor número de puntos intermedios con buena visibilidad con el anterior y el posterior. Por tanto, lo más cercano posible a por donde transcurría la línea límite oficial el equipo de topógrafos realizaba su itinerario. Habitualmente los hitos o mojones se colocaban en lugares fácilmente reconocibles. Es importante señalar que además de los puntos de medida intermedios y de los hitos, se utilizaban muchos puntos de apoyo complementarios que les permitían encajar mejor sus mediciones en el entorno cercano y dotar de esta manera de mayor precisión y coherencia a sus cálculos. Así era frecuente hacer observaciones desde los vértices geodésicos cercanos o desde elementos físicos estables (molinos, cortijos, torreones).

Una vez calculada la poligonal o itinerario y señalados los mojones, se encaja sobre la cartografía actual. Se marca un radio de búsqueda para cada mojón y comienza la fase de campo en la que tratan de localizarse los mojones y se realizan las mediciones GPS necesarias.

Trabajos topográficos sobre el terreno

Con la descripción del Acta, el MTA10 y la ortofotografía más reciente, el equipo de campo recorre la línea trazada en gabinete. Su primer objetivo es localizar y observar los mojones pero también aquellos puntos de control procedentes del Cuaderno de Campo que han pervivido y todos aquellos otros elementos que el topógrafo de campo detecta que pueden servir de ayuda en los cálculos finales en gabinete. Este trabajo de campo debe ser muy minucioso y cuidadoso puesto que de él va a depender la fiabilidad final de la línea límite y que ésta quede definida por un mayor o menor número de mojones.

Las observaciones se realizan utilizando la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP) como marco de referencia. Sea cual sea el punto observado las mediciones se realizan en modo estático variando el tiempo de observación. Es importante también el reportaje fotográfico que debe hacerse de cada uno de los mojones encontrados, del lugar donde se supone que debería estar un mojón así como de los puntos de apoyo y control.



Figura 6. Ejemplo de Punto de apoyo: esquina de un cortijo

Cierre de la línea en gabinete

De vuelta en gabinete, se recalculan las coordenadas de los mojones encontrados así como de los puntos de apoyo. A partir de los puntos fiables se calculan coordenadas para los mojones no localizados. Una vez obtenidas las coordenadas de todos los hitos, localizados o no, se realiza un trabajo de verificación comprobando de nuevo que la posición obtenida se corresponde con la descrita en el Acta en la medida en que los cambios en el territorio lo permitan. La no concordancia puede exigir un nuevo cálculo e incluso un nuevo trabajo de campo.

CONSEJERÍA DE GOBERNACIÓN
Dirección General de Administración Local
CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES
Instituto de Cartografía de Andalucía

Estación	Etiqueta	Punt. V.	Etiqueta	Azimut	Dist. Red.	x	y	Incr. X	Incr. Y	Incr. X	Incr. Y	Correc.	Correc.	x	y	Punt.	Etiquetas
100101	Mbt1		100101 Mbt1 MalBeEs			319.721.591	4.040.747.869	MST B MalBeEs						319.721.591	4.040.747.869	100101	Mbt1 MalBeEs
2	2	23.084	121.000			319.789.033	4.040.859.180	47.442	111.311	47.442	111.311			319.796.152	4.040.859.114	2	
3	3 m2	8.459	343.604			319.819.579	4.041.199.042	50.548	339.862	50.548	339.862			319.819.845	4.041.182.771	3	m2
4	4	52.834	305.000			300.062.631	4.041.383.300	243.052	184.258	243.052	184.258			300.063.557	4.041.382.918	4	
5	5	64.834	482.300			320.499.151	4.041.588.393	436.521	205.093	436.521	205.093			320.501.202	4.041.587.887	5	
6	6	76.334	135.000			300.630.330	4.041.820.287	131.178	31.895	131.178	31.895			300.632.701	4.041.819.763	6	
7	7 m3	54.334	824.420			321.300.098	4.042.100.959	689.769	480.671	689.769	480.671			321.304.384	4.042.100.146	7	m3
8	8	35.584	98.000			321.557.129	4.042.189.688	87.028	78.709	87.028	78.709			321.561.565	4.042.179.797	8	
9	9 m4	49.459	377.000			321.643.823	4.042.425.704	286.498	245.046	286.498	245.046			321.648.842	4.042.424.695	9	m4
10	10 m5	74.834	302.500			321.935.588	4.042.504.847	291.865	79.138	291.865	79.138			321.941.599	4.042.503.786	10	m5
11	11 m6	14.834	303.000			322.015.183	4.042.791.743	77.575	292.601	77.575	292.601			322.018.365	4.042.786.511	11	m6
12	12	348.834	261.000			321.953.714	4.043.051.863	-59.449	254.139	59.449	-254.139			321.960.097	4.043.050.480	12	
13	13 m7	50.334	262.000			322.155.397	4.043.218.119	201.663	187.237	201.663	187.237			322.162.327	4.043.217.634	13	m7
14	14	193.834	25.000			321.947.737	4.043.027.658	-5.976	-24.275	5.976	24.275			321.954.115	4.043.025.523	14	
15	15 m8	351.084	229.000			322.119.805	4.043.445.392	-39.482	226.233	39.482	-226.233			322.126.332	4.043.443.731	15	m8
16	16	10.584	423.900			322.197.749	4.043.961.942	77.844	416.589	77.844	416.589			322.204.937	4.043.960.076	16	
17	17 m9	29.584	411.900			322.401.105	4.044.220.142	203.356	358.201	203.356	358.201			322.405.098	4.044.218.052	17	m9
18	18	36.834	837.200			322.903.008	4.044.890.215	501.903	670.072	501.903	670.072			322.912.161	4.044.887.728	18	
19	19 m3	52.834	602.500			323.382.737	4.045.253.997	478.738	363.652	478.738	363.652			323.390.152	4.045.251.158	19	m3
20	20	46.334	422.000			323.697.995	4.045.534.436	315.249	280.539	315.249	280.539			323.709.297	4.045.531.559	20	
						323.709.297	4.045.531.559	4.166.277	4.788.567					323.709.297	4.045.531.559		

CIERRE COORDENADAS

Línea límite entre los municipios de Benahavés y Mágina

Página 1

Figura 7. Cálculos finales: obtención de coordenadas

Finalmente, se procede a trazar la línea límite siguiendo la descripción recogida en las Actas. Para realizar dicho trazado se utilizará como base el MTA10 así como la ortofotografía más adecuada y reciente.



Figura 8. Volcado final de la línea límite y mojones calculados sobre la Ortofotografía oficial.

Posteriormente se genera una documentación muy completa que permite disponer para cada línea límite de un expediente perfectamente documentado y con trazabilidad para poder repetir cualquier fase del trabajo en cualquier momento.

CONCLUSIONES

Definir la metodología ha sido una tarea larga y laboriosa. Han sido varios años de búsqueda de la documentación histórica, análisis de la misma y diseño de procesos que no siempre han sido los más adecuados.

Hoy por hoy, el proceso metodológico a seguir está completamente diseñado y, lo que es más importante, comprobado y puesto en producción. Hasta junio de 2008 el Instituto de Cartografía de Andalucía ha iniciado el replanteo de unos 3.300 km de líneas límite, es decir, unas 150 líneas límite repartidas por las ocho provincias andaluzas. Se trata pues, de una cuantía lo suficientemente importante como para haber permitido establecer unos criterios comunes y homogéneos.

No obstante, algunos aspectos considerados secundarios en un principio y, por tanto, pospuestos hasta el día de hoy se muestran ahora como fundamentales y es necesario abordarlos. Entre ellos, destacan los puntos relacionados con el tratamiento y almacenamiento de la información utilizada y generada. Así los retos en un futuro inmediato se centran en el desarrollo de aplicaciones y herramientas que permitan la gestión adecuada de los datos obtenidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Nadal, F y Urteaga, L (1990): Cartografía y Estado: los mapas topográficos nacionales y la estadística territorial en el siglo XIX. *Cuadernos Críticos de Geografía Humana*, 88. <http://www.ub.es/geocrit/geo88.htm>

Instituto Geográfico y Estadístico (1878): *Instrucciones para los trabajos topográficos*. Madrid.

Instituto Geográfico y Estadístico (1907): *Instrucciones complementarias para los trabajos topográficos*. Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes. Madrid.

Instituto Geográfico y Estadístico (1920): *Instrucciones complementarias para los trabajos topográficos*. Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes. Madrid.

Gómez-Jiménez, Inmaculada; Montero-Serrano, Javier y Barrios-Virtus, Iciar (2008): Mapas de preferencias visuales forestales para la gestión del uso público de los montes. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la UPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 248-254. ISBN: 978-84-96971-53-0.

MAPAS DE PREFERENCIAS VISUALES FORESTALES PARA LA GESTIÓN DEL USO PÚBLICO DE LOS MONTES

Gómez-Jiménez, Inmaculada¹; Montero-Serrano, Javier² y Barrios-Virtus, Iciar³

(1) Facultad de Ciencias y Artes, Universidad Católica de Ávila, C/Canteros, s/n 05005, Ávila, inmaculada.gomez@ucavila.es

(2) Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá, Calle Colegios, 1. 28801 Alcalá de Henares (Madrid), javier.montero@alu.uah.es

(3) Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Universidad Rey Juan Carlos, C/Tulipán, s/n, 28933 Móstoles (Madrid), iciarb@orangemail.es

RESUMEN

Las preferencias visuales son valores cualitativos que habitualmente se obtienen mostrando a un conjunto de sujetos una imagen (fotografía) o un conjunto de imágenes especialmente seleccionadas. Los valores están por tanto, asociados a la imagen y no al territorio, por lo que sólo pueden ser utilizados como guías de planificación técnica limitada y no en la planificación territorial.

En este estudio se han generado, a partir de valores de preferencia visual de una serie de tipologías forestales, una representación cartográfica que traslada la valoración cualitativa al territorio. La distribución espacial de los valores se basa en un análisis de la relación entre las imágenes y la preferencia y los atributos que podían identificarse en territorio, usando, entre otros el Mapa Forestal Español o el Inventario Forestal Nacional.

La información obtenida mediante encuesta se transforma así en una herramienta útil para la valoración de la calidad visual forestal y para facilitar la gestión del uso recreativo de los montes. Entre otras cosas permite detectar las regiones de menor preferencia donde es posible realizar actuaciones y, por el contrario, aquellas que serían más idóneas para la localización de infraestructuras recreativas de uso público.

Palabras Clave: paisaje, SIG, preferencias visuales, gestión forestal, uso recreativo.

ABSTRACT

Visual preferences are non quantitative values which are usually obtained by showing one or more specially selected images (photos) in a survey to a sample of subjects. Therefore those values are related to the image but not to the territory. Thus, those values can not be used for guiding landscape planning but technical planning.

In this study we generate, starting from visual preference values from several types of forests, cartography for getting the qualitative values to the territory. Spatial distribution of those values is based in an analysis of the relationship between the images, the visual preferences and the spatial attributes and features which we are able to identify in the territory. Basic data for this linking, besides visual preferences, were the Spanish Forest Map and the National Forest Inventory.

The information obtained by survey becomes this way in a useful tool for valuating forest quality and for making easier the management of recreational use of forest. It allows detection of regions with worse visual preference where to manage for getting better visual quality. Otherwise, the map is also useful for selecting more adequate places for new public use infrastructures.

Key Words: landscape, GIS, visual preferences, forest Management, recreation.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los montes se han convertido en los lugares preferidos para el recreo y las actividades al aire libre en la sociedad urbana europea (DeLucio y Mugica, 1994; Ode y Fry, 2006). La demanda social de

actividades vinculadas a las áreas forestales está creciendo rápidamente (Harshaw et al., 2006; Oku y Fukamachi, 2006). Esta demanda de uso público del monte puede convertir las necesarias actuaciones de gestión forestal en fuente de conflicto (Parsons, 1995; Tyrvaïnen et al., 2003). Por ejemplo, algunos tratamientos que pueden resultar necesarios para el mantenimiento del monte, pueden sin embargo ser menos adecuados para ofrecer oportunidades de uso recreativo.

Los intentos para integrar los valores recreativos en la planificación forestal son relativamente frecuentes (Graefe y Vaske, 1987; Silvennoinen et al., 2002; Zhou y Liebhold, 1995). Se han realizado esfuerzos para incluir el diseño en el sistema de gestión visual del Servicio Forestal de Estados Unidos (Visual Management System - US Forest Service), derivando en la zonificación de las actividades para reducir los impactos visuales (Bell, 2001).

Las preferencias de los usuarios pueden evaluarse a partir de sus respuestas a diferentes tipos de vegetación y elementos del paisaje (Kaplan y Kaplan, 1989; Ulrich, 1986). Varios estudios han relacionado la gestión forestal a las preferencias visuales (Ribe, 2005), y otros han realizado estudios analizando las preferencias visuales con el objetivo de minimizar el impacto de la gestión forestal en el uso recreativo (Karjalainen y Komulainen, 1999; Silvennoinen et al., 2002; Tahvanainen et al., 2001). Los estudios realizados en esta materia en las zonas mediterráneas han sido muy escasos y la mayoría centrados en las preferencias sobre paisajes agrícolas o agroforestales (Arriaza et al., 2004; Gomez-Limon y de Lucio Fernandez, 1999; Ruiz Sánchez y Cañas Guerrero, 2001; Sayadi et al., 2005).

La carencia de estudios sobre cómo pueden gestionarse los paisajes forestales mediterráneos para hacerlos más atractivos para el recreo es patente. Tampoco se han encontrado trabajos que investiguen los efectos del abandono de la gestión forestal en el valor recreativo de los montes. Conocer cómo diferentes gestiones forestales, o la ausencia de gestión, afecta a los valores recreativos permite su inclusión en la política forestal y la gestión en aquellos lugares en que el valor recreativo es su principal función.

Aún cuando se acometan estudios que permitan definir cuáles son las preferencias de los usuarios de los montes, el carácter cualitativo de esta información limita su uso en la planificación del territorio. El objetivo de este estudio es establecer el mecanismo más adecuado para transformar esa información sobre las preferencias visuales a un formato que sea de mayor utilidad para los gestores del territorio.

ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) num. 56 “Encinares de los ríos Alberche y Cofio”. Situada en la Comunidad de Madrid, a aproximadamente 40 km al suroeste de la capital, ocupa un área aproximada de 829 km². Es una zona de relieves y vegas donde existen abundantes bosques naturales y plantaciones (fundamentalmente *Pinus* sp.), siendo las especies dominantes *Quercus ilex*, *Pinus pinea* and *Pinus pinaster*. La superficie forestal representa alrededor de un 77%, un 40 % si consideramos exclusivamente la superficie forestal arbolada (Figura 1).

La dinámica territorial consiste en un progresivo abandono de las zonas cultivadas y los pastizales y su consiguiente transformación en matorral. Esta dinámica es común en los áreas rurales marginales mediterráneas, ocasionada por el abandono de las actividades tradicionales (Romero-Calcerrada y Perry, 2004).

La cercanía de la ZEPA al área metropolitana de Madrid atrae un gran número de visitantes para el desarrollo de actividades recreativas, lo que convierte a los montes de la también llamada “Sierra Oeste” de Madrid en una zona de estudio idónea para llevar a cabo la presente investigación. La población de la zona se ha incrementado un 30 % en los últimos 15 años debido a su proximidad a Madrid, el bajo coste de la vivienda y sus altos valores paisajísticos. Por ello, se está incrementando la superficie urbana y residencial con la proliferación de segunda residencia (por ejemplo San Martín de Valdeiglesias o Pelayos de la Presa), y residencia principal en las zonas más cercanas a Madrid (como Sevilla La Nueva).

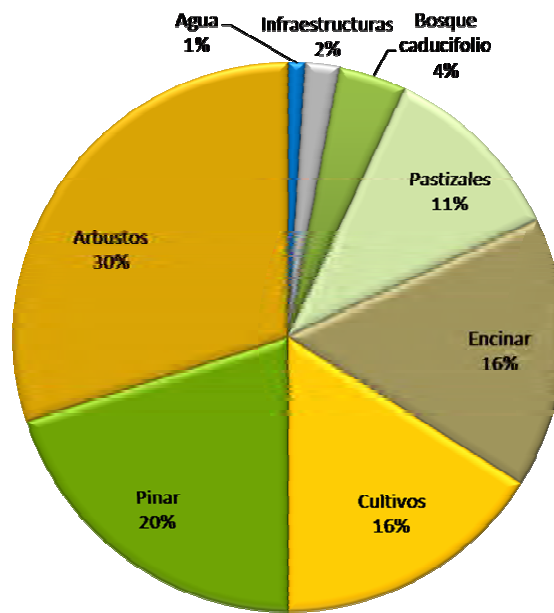


Figura 1. Los montes cubren la mayor parte de la zona de estudio y la presencia de superficie arbolada es muy significativa. El gráfico muestra, a partir de una clasificación de una imagen Landsat de 1999, los porcentajes de cada tipo de cobertura en la ZEPA.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Obtención de las preferencias visuales recreativas

Para conocer cómo el público percibe los efectos paisajísticos (visuales) de la gestión forestal, se han evaluado sus preferencias respecto a la expresión visual de diferentes prácticas de gestión forestal, es decir, lo que el público puede percibir directamente, más que las prácticas en sí mismas (por ejemplo, el público percibe la densidad de arbolado como la expresión visual de una clara).

Los datos sobre las preferencias visuales fueron tomados en el verano de 2006 a partir de encuestas. Durante las encuestas se mostraban 40 fotografías tomadas entre los meses de abril y mayo de 2006 en diversos montes de la zona de estudio. El uso de fotografías es un medio ampliamente aceptado para la representación del paisaje en estudios sobre calidad escénica (Palmer, 2004).

Los sujetos voluntarios de la encuesta (N=324) se encontraban realizando actividades recreativas en diversas áreas forestales de la ZEPA. En su mayoría procedían de zonas a menos de una hora de trayecto en coche y permanecían en la zona menos de 10 horas. Un 60.5% de la muestra estaba compuesto por mujeres. El total de la muestra se dividía en las siguientes clases de edades: 13-19 (5.25%), 20-39 (76.85%), 40-60 (16.67%), y mayores de 60 años (1.23%).

Transformación de las preferencias visuales recreativas

Los valores de preferencias recreativas obtenidos en las fotos fueron desglosados en una serie de atributos forestales que podían ser relativamente identificados en las bases cartográficas ya disponibles (tabla 1 y figura 2).

Tabla 1. Atributos considerados en la obtención de las preferencias visuales. A partir de estos atributos se conforma el valor de calidad visual recreativa de los montes. Su identificación en las cartografías forestales disponibles permitirá enlazar valores de calidad recreativa con superficies de coberturas.

ID	Atributo valorado	Codificación
ST	Gestión	sin gestión=1, gestión adecuada=2
DN	Densidad	alta=1, media=2, baja (abierto)=3
HD	Distribución de edades del arbolado	regular=1, irregular=2
SP	Especies	no arbolado=1, <i>P. pinaster</i> =2, <i>P. pinea</i> =3, <i>Q. Ilex</i> =4, especies caducifolias=5
CX	Estructura vertical	uniforme=1, compleja (varios estratos)=2

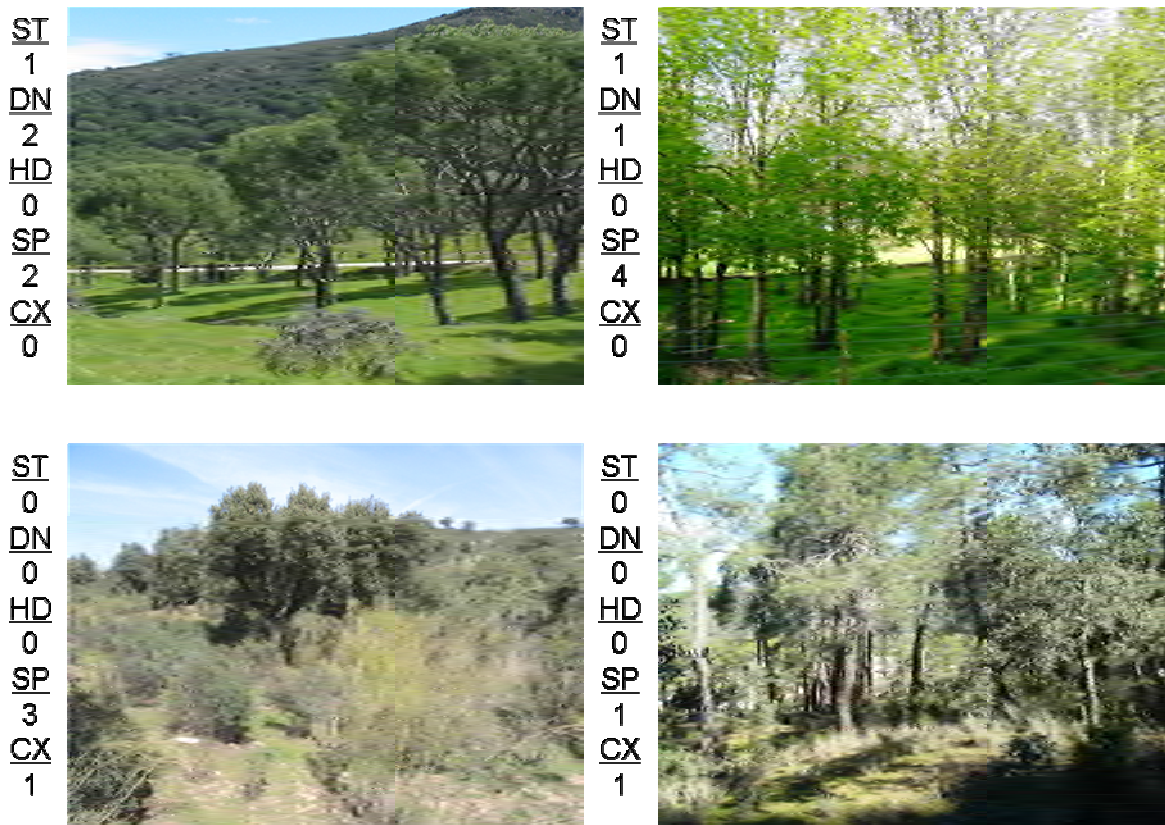


Figura 2. Muestra del conjunto de 40 fotografías utilizadas en las encuestas en donde se muestra los diferentes atributos asociados a las mismas. Esta información (los atributos) no se mostraba a los encuestados, a los que únicamente se mostraban las imágenes sin ningún tipo de información adicional

Los resultados de las encuestas en conjunción con la desagregación en atributos de las fotografías permitieron obtener una representación de la importancia que los usuarios del monte daban a cada uno de los atributos considerados, en lo que respecta al uso recreativo. Se realizaron varios análisis estadísticos, adecuados a la naturaleza discreta de las variables para obtener valores de ponderación que permitiesen obtener un modelo adaptable a la cartografía forestal existente.

Paralelamente a la recogida de información mediante encuesta se obtuvieron cartografías de la zona de estudio, a partir de los datos del Mapa Forestal Español y del III Inventario Forestal Nacional, cartografías representativas de cada una de las variables. La variable gestión (ST), no recogida en los anteriores, se consideró presente (valor 1) cuando el monte en cuestión disponía de un plan de ordenación vigente según la información facilitada por la Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid.

RESULTADOS

A partir de la aplicación del test estadístico V de Cramer, se obtuvo un valor que relacionaba la importancia de las distintas variables con la valoración de calidad recreativa que realizaban los encuestados (tabla 2).

Tabla 2. Resultados de la aplicación del test V de Cramer. Estos valores son indicativos del grado de relación entre los atributos de las imágenes y el valor recreativo y se utilizaron como elemento de ponderación en la elaboración de los mapas finales.

Variabales	Valor
Gestión (ST)	.312 *
Estructura vertical (CX)	.243 *
Especies (SP)	.206 *
Densidad (DN)	.201 *
Distribución de edades del arbolado (HD)	.060 *

* $p < 0.001$

Estos valores resultado del test V de Cramer fueron utilizados como pesos de ponderación en una ecuación de “calidad forestal recreativa” (QFR) cuyo resultado fue finalmente representado cartográficamente. Así:

$$QFR = 0.312*ST + 0.243*CX + 0.206*SP + 0.201*DN + 0.060*HD$$

Donde cada una de las variables ST, CX, SP, DN y HD tomaban los valores descritos en la tabla 1 según la zona y por tanto la información recogida en la cartografía. Se obtenía así un índice integrado de calidad recreativa de las zonas forestales para su gestión y valoración.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las principales conclusiones del estudio permitieron identificar qué tipos de zona forestal y su gestión eran los más idóneos desde el punto de vista del uso recreativo.

En primer lugar los bosques con una adecuada gestión forestal (control del sotobosque, estado saneado y saludable del arbolado, densidad controlada, etc.) fueron preferidos sobre aquellos con un carácter “salvaje”.

En segundo lugar los colores asociados a las especies caducifolias y los sistemas de gestión forestal abiertos, con amplios claros, fueron claramente preferidos y en concreto el sistema de explotación tradicional del pino piñonero (*Pinus pinea*) que genera una distribución poco densa de árboles de edad elevada con un sotobosque de matorral y regenerado prácticamente ausentes.

Por otra parte, los sistemas simples e uniformes, caracterizados por la existencia de un único estrato de vegetación, fueron preferidos sobre las estructuras verticales complejas.

La calidad recreativa fue analizada y valorada exclusivamente a nivel de paisaje interior y no se contemplaron en el estudio las cuencas visuales. Esta información que podría aportar un gran valor añadido es una de las líneas donde se puede posteriormente desarrollar importantes investigaciones.

Se detectó una falta de información cartográfica en la relación de gestión de las masas forestales. La gestión de los montes no siempre estaba catalogada de un modo accesible y no se incluía en las cartografías de uso tradicional en el sector. Si bien esta variable se ha mostrado como la de mayor importancia en cuanto al valor recreativo de los montes, por lo que la catalogación desarrollada en este estudio aporta un considerable valor.

La validez y aplicabilidad de los resultados queda restringida a la zona de estudio si bien es posible utilizar los resultados en otras zonas de vegetación mediterránea y por tanto similares. Es importante destacar que el número de estudios realizados hasta el momento sobre preferencias visuales y recreativas en bosque Mediterráneo es muy escaso. Los resultados de este estudio serán de gran utilidad para la ordenación y planificación del

territorio a la hora de realizar actuaciones o escoger puntos de alto interés recreativo, así como para los análisis de impacto ambiental de actuaciones como urbanizaciones o modificación/creación de infraestructuras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores están agradecidos muy especialmente a Jose M. Beneitez, ya que sin su colaboración en estudios previos el desarrollo de esta investigación no hubiese sido posible. Del mismo modo agradecen la contribución de todos aquellos que participaron en la realización de las encuestas, destacando a Liliana Fernández y a José Jiménez. También han de agradecer los inestimables comentarios de Mari S. Tveit y Gary Fry del Landscape Planning Institute de la Norwegian University of Life Sciences, y de Wenche Dramstad y Wendy Fjellstad del Instituto Forestal y de Paisaje Nacional de Noruega.

Agradecer asimismo la dedicación y amabilidad de los funcionarios del servicio forestal de la Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid.

REFERENCIAS

- Arriaza, M., Canas-Ortega, J. F., Canas-Madueno, J. A. y Ruiz-Aviles, P. (2004): Assessing the visual quality of rural landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 69 (1): 115-125.
- Bell, S. (2001): Landscape pattern, perception and visualisation in the visual management of forests. *Landscape and Urban Planning*, 54 (1-4): 201-211.
- DeLucio, J. y Mugica, M. (1994): Landscape preferences and behaviour of visitors to Spanish national parks. *Landscape and Urban Planning*, 29 (2-3): 145-160.
- Gomez-Limon, J. y de Lucio Fernandez, J. V. (1999): Changes in use and landscape preferences on the agricultural-livestock landscapes of the central Iberian Peninsula (Madrid, Spain). *Landscape and Urban Planning*, 44 (4): 165-175.
- Graefe, A. R. y Vaske, J. J. (1987): A framework for managing quality in the tourist experience. *Annals of Tourism Research*, 14 (3): 390-404.
- Harshaw, H. W., Kozak, R. A. y Sheppard, S. R. J. (2006): How well are outdoor recreationists represented in forest land-use planning?: Perceptions of recreationists in the Sea-to-Sky Corridor of British Columbia. *Landscape and Urban Planning*, 78 (1-2): 33-49.
- Kaplan, R. y Kaplan, S. (1989): *The experience of nature; a psychological perspective*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Karjalainen, E. y Komulainen, M. (1999): The visual effect of felling on small- and medium-scale landscapes in north-eastern Finland. *Journal of Environmental Management*, 55 (3): 167-181.
- Ode, Å. y Fry, G. (2006): A model for quantifying and predicting urban pressure on woodland. *Landscape and Urban Planning*, 77 (1-2): 17-27.
- Oku, H. y Fukamachi, K. (2006): The differences in scenic perception of forest visitors through their attributes and recreational activity. *Landscape and Urban Planning*, 75 (1-2): 34-42.

- Parsons, R. (1995): Conflict between ecological sustainability and environmental aesthetics: Conundrum, candor or curiosity. *Landscape and Urban Planning*, 32 (3): 227-244.
- Ribe, R. G. (2005): Aesthetic perceptions of green-tree retention harvests in vista views: The interaction of cut level, retention pattern and harvest shape. *Landscape and Urban Planning*, 73 (4): 277-293.
- Romero-Calcerrada, R. y Perry, G. L. W. (2004): The role of land abandonment in landscape dynamics in the SPA 'Encinares del rio Alberche y Cofio, Central Spain, 1984-1999. *Landscape and Urban Planning*, 66 (4): 217-232.
- Ruiz Sánchez, M. A. y Cañas Guerrero, I. (2001). Método de valoración del impacto paisajístico. En: Ayuga Téllez, F. (Coor.), *Gestión sostenible de paisajes rurales: técnicas e ingeniería*. Mundi Prensa y Fundación Alonso Martín Escudero, pp.: 53-80
- Sayadi, S., Gonzalez Roa, M. C. y Calatrava Requena, J. (2005): Ranking versus scale rating in conjoint analysis: Evaluating landscapes in mountainous regions in southeastern Spain. *Ecological Economics*, 55 (4): 539-550.
- Silvennoinen, H., T., P. y Tahvanainen, L. (2002): Effect of Cuttings on the Scenic Beauty of a Tree Stand. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17 (3): 263-273.
- Tahvanainen, L., Tyrvaïnen, L., Ihalainen, M., Vuorela, N. y Kolehmainen, O. (2001): Forest management and public perceptions -- visual versus verbal information. *Landscape and Urban Planning*, 53 (1-4): 53-70.
- Tyrvaïnen, L., Silvennoinen, H. y Kolehmainen, O. (2003): Ecological and aesthetic values in urban forest management. *Urban Forestry & Urban Greening*, 1 (3): 135-149.
- Ulrich, R. S. (1986): Human responses to vegetation and landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 13: 29-44.
- Zhou, G. y Liebhold, A. M. (1995): Forecasting the spatial dynamics of gypsy moth outbreaks using cellular transition models. *Landscape Ecology*, 10 (3): 177-189.

Hermosilla Carrasquilla, Aurora, Caturla Montero, Cristina y Panero González, Francisco (2008): La experiencia de Andalucía en la producción de cartografía inteligente: el MBA. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 255-266. ISBN: 978-84-96971-53-0.

LA EXPERIENCIA DE ANDALUCÍA EN LA PRODUCCIÓN DE CARTOGRAFÍA INTELIGENTE: EL MBA

Hermosilla Carrasquilla, Aurora¹, Caturla Montero, Cristina² y Panero González, Francisco³

(1) Instituto de Cartografía de Andalucía. c/ San Gregorio 7. 41004 Sevilla. E-mail: aurora.hermosilla@juntadeandalucia.es

(2) Instituto de Cartografía de Andalucía. c/ San Gregorio 7. 41004 Sevilla. E-mail: cristina.caturla@juntadeandalucia.es

(3) Equipo de Trabajo del MBA. ICA. c/ San Gregorio 7. 41004 Sevilla. E-mail: francisco.panero.ext@juntadeandalucia.es

RESUMEN

Uno de los retos que asumen las Administraciones Públicas es conjugar las necesidades de los profesionales de distintos sectores que siguen haciendo uso de cartografía de precisión con las demandas sociales cada vez más abundantes y variadas. En esta línea, uno de los proyectos más relevantes que se están llevando a cabo por parte del Instituto de Cartografía de Andalucía es la generación de una nueva base cartográfica para Andalucía, precisa, completa y actualizada sobre la que poder construir todos los productos que demanda el usuario, ya sea en el entorno profesional o doméstico. El Mapa Base de Andalucía, planteado a escala 1:5.000-1:10.000, se está elaborando a partir de un Modelo Conceptual completamente nuevo independiente del entorno tecnológico sobre el que se construye. Este modelo incluye una serie de reglas que los objetos deben cumplir para asemejarse más a la realidad y asegurar el grado de calidad de la información. Se han definido condiciones de calidad que aseguran cuestiones referidas a integridad y coherencia conceptual, geometría y topología. Se ha elegido un entorno SIG en geodatabase orientado a objetos sobre el que se han construido una serie de subsistemas que garantizan la calidad exigida al Mapa.

Palabras Clave: modelo de datos, modelo conceptual, geodatabase, control de calidad

ABSTRACT

One of the challenges that assume the Public Administrations is to combine the needs of the professionals from different sectors that are still using precision cartography with social demands increasingly abundant and varied. Along these lines, one of the most relevant projects being carried out by the Institute of Cartography of Andalusia is the production of a new base cartographic for Andalusia. This one must be Precise, complete and updated on that to be able to construct all the products that the user demands is in professional or domestic environment. The Base Map of Andalusia, raised at scale 1:5.000 - 1:10.000, has been developed from a new Conceptual Model completely independent from the technological environment that it has been constructed. This model includes a series of rules that objects must meet to resemble more a reality and ensure the degree of quality of information. . We have defined conditions that ensure quality issues relating to the conceptual integrity and consistency, geometry and topology. It has chosen an environment in GIS Geodatabase orientated to objects on which they have built a number of subsystems that guarantee the quality required to Map.

Key Word: data model, conceptual model, geodatabase, quality control

INTRODUCCIÓN

Uno de los retos que asumen las Administraciones Públicas es conjugar las necesidades de los profesionales de distintos sectores que siguen haciendo uso de cartografía de precisión con las demandas sociales cada vez más abundantes y variadas. En concreto, uno de los proyectos más relevantes de esta índole que está llevando a cabo La Junta de Andalucía es la generación de una nueva base cartográfica para Andalucía, precisa, completa y actualizada, sobre la que se puedan construir todos los productos que se ofrecen al usuario, ya sea en el entorno profesional o doméstico: el Mapa Base de Andalucía (MBA).

Antecedentes

La cartografía básica a escala territorial que habitualmente se ha ido usando en la Junta de Andalucía se compone fundamentalmente de dos series de mapas, una a escala 1:10.000 que cubre todo el territorio andaluz (Mapa Topográfico de Andalucía 1:10.000 o MTA10) y otra a escala 1:5.000 que cubre las aglomeraciones urbanas y el litoral. Dichas series comenzaron a gestarse en los años ochenta y han ido enriqueciéndose con actualizaciones de distinta naturaleza: actualización de la información contenida, enriquecimiento con nuevos elementos y más información y nuevos formatos y formas de explotación de la misma. De hecho el MTA10 sigue siendo de gran utilidad y sigue renovándose en la actualidad.

No obstante, el hecho de que la cartografía territorial de la comunidad autónoma de Andalucía, aunque actualizada y enriquecida, haya sido generada según concepciones y métodos tradicionales, unido a que la tecnología nos permite una nueva forma de concebir la representación de la realidad y sus posibilidades de generar productos de apoyo a la decisión, nos hace abordar un proyecto tan ambicioso como el desarrollo de una nueva base cartográfica territorial para Andalucía. Esta base es el llamado Mapa Base de Andalucía 1:5.000, 1:10.000 (MBA5-10).

OBJETIVOS

Los objetivos que nos llevan a construir una nueva base cartográfica son, básicamente, conseguir un sistema de información donde ésta ofrezca más calidad y sea más cercana a los usuarios.

Para obtener **mayor calidad** en la información del MBA debemos conseguir:

- En primer lugar, que ofrezca **más información**. Esto se aborda atendiendo a la mejora de varios factores. En primer lugar se concibe como una base cartográfica que, además de información topográfica, ofrece otros elementos que por su importancia para cualquier análisis integrado del territorio, se consideran igualmente básicos. Además, el MBA se estructura de forma que sobre él se puede superponer fácilmente información temática de distintos ámbitos y quedar automáticamente integrada, si así se desea, en la propia base en un proceso de realimentación automático. En segundo lugar, la información se captura en tres dimensiones, lo cual supone una gran mejora respecto al mencionado MTA10. En tercer lugar, el MBA integra unos detallados metadatos que ofrecen al usuario del Mapa mejor conocimiento de la información que en éste se representa.
- La información que ofrece el MBA es **más veraz**. Esta veracidad se consigue fundamentalmente tendiendo al dato único institucional, de acuerdo con lo indicado en la directiva Inspire. En este sentido el dato que ofrece la administración pública al ciudadano debe ser único independientemente de quien lo produzca. En este sentido, el MBA integra los datos que emanan de los centros directivos de la Junta de Andalucía competentes en cada materia (por ejemplo, las matrículas de las carreteras autonómicas emanan de la Dirección General de Carreteras de la Junta de Andalucía) y, en aquellas materias competencia de otra administración, se designa un centro directivo como interlocutor con la administración competente (por ejemplo la Consejería de Economía y Hacienda de la Junta de Andalucía es receptora de la información procedente de la DG Catastro de la Administración General del Estado).
- Otro de los aspectos que mejoran la calidad del MBA es una mayor **precisión geométrica**. Esta mejora se consigue construyendo el mapa sobre la Infraestructura Geográfica de Referencia prevista en el Sistema Cartográfico de Andalucía, definido en el *Decreto 141/2006, de 18 de julio, por el que se ordena la actividad cartográfica en la comunidad autónoma de Andalucía*. Esta infraestructura establece los pilares sobre los que producir información geográfica de calidad; entre otros, establece un marco de referencia geodésico donde la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP) proporciona una base estable, sin vulnerar lo definido en el RD 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España. Además, independientemente de

que los análisis territoriales se realicen de forma general sobre el huso 30, cada información del MBA se levanta en su propio huso, ya sea 29 o 30.

- Otra de las mejoras que se consigue con este nuevo planteamiento de base territorial es una **mejor modelización** de la realidad. La representación cartográfica se realiza partir de un modelo conceptual, independiente del entorno tecnológico, donde se define el conjunto de elementos a representar y la relación entre ellos. Este modelo después se implementa en una plataforma orientada a objetos, que, además de añadir una estructura de base de datos relacional a distintas representaciones gráficas de un mismo objeto, permite asignar una compleja topología entre objetos y un comportamiento más parecido a la realidad territorial.

Todas estas mejoras en la calidad de la información van aparejadas, por supuesto, con un cumplimiento de estándares, que dan un valor añadido al MBA y posibilita su integración con otras informaciones.

Para conseguir una cartografía **más cercana** al usuario:

- Se amplía el **espectro de usuarios**. Se quiere una base cartográfica que satisfaga las necesidades tanto del usuario especializado en información espacial, como del ciudadano en general. Además, de los usuarios familiarizados con el uso de información geográfica, se quiere abarcar a los usuarios habituales de distintas plataformas: geodatabase, shape, coberturas, formatos CAD (.dxf, .dgn) o formatos ráster.
- Otra de las mejoras que se obtienen con el MBA es asegurar una **interoperabilidad** que permita integrar e interrelacionar informaciones procedentes de distintas fuentes, ya sea en la IDEAndalucía o en cualquier otra plataforma. Para ello se sigue una serie de estándares, tales como normas de la familia ISO 9100, estándares OGC o formatos que cumplan lo establecido por el Núcleo Español de Metadatos.
- Además, el MBA ofrecerá al usuario un conjunto de **productos elaborados** y sencillos de usar a partir de: mezclas de distintas informaciones, recortes de zonas de interés, vistas de las bases de datos y salidas en distintos formatos con simbologías intuitivas y de uso común en este tipo de productos. Aparte de los productos de usuario final, se ofrecerá al usuario la posibilidad de confeccionarse sus propios mapas a partir de conjuntos integrados de informaciones en formatos estándar.

En resumen, con este sistema se ofrece al usuario una gama de posibles productos del Mapa Base de Andalucía, para que en cada momento trabaje con la información y el formato que mejor se adecue a sus necesidades.

METODOLOGÍA: ARQUITECTURA DEL MBA

El Mapa Base de Andalucía (MBA) es más que una cartografía de referencia de uso general distribuida en diferentes formatos. En su sentido más amplio, el MBA es un sistema, entendiendo como tal a un conjunto de procedimientos, datos, reglas y usuarios, cuyo alcance engloba al ciclo integral de la cartografía. El MBA se compone principalmente de los elementos que se describen a continuación.

La información

Debemos entender el MBA como un sistema que permite la producción, incorporación, mantenimiento, difusión y actualización de la información georreferenciada de la Junta de Andalucía.

La información, que es la pieza fundamental del Mapa, se almacena en el MBA por temáticas. Se establecen nueve fundamentales

El modelo de datos

El modelo de datos es el núcleo del sistema, ya que organiza la distribución interna de los elementos del MBA tanto gráficos como alfanuméricos. Sobre él se definen las entidades que son tratadas por los subsistemas, los cuales son articulados y coordinados por las diferentes reglas del sistema. Por ello, el diseño y construcción del modelo de datos debe afrontarse con un criterio multipropósito, donde el modelo debe soportar esquemas de datos orientados a diversos procesos en distintos entornos tecnológicos. En este sentido, no es lo mismo la restitución o edición cartográfica en un entorno CAD que en un entorno GIS.



Figura 1. Temas de información del MBA

Debido a la actual heterogeneidad de soluciones tecnológicas con sistemas propietarios y poco conectados entre sí, es necesario especificar un **modelo conceptual** que permita la definición de las entidades objeto del MBA, sus **atributos**, tanto **descriptivos** como **geométricos**, las **relaciones** tanto **lógicas** como **espaciales** (geométricas y topológicas) entre las diferentes entidades y, por último, las **dependencias** y **reglas** propias de cada una de las entidades como un **comportamiento** intrínseco a la propia existencia de la entidad.

A partir del modelo conceptual, se derivan dos modelos, el **modelo de producción**, orientado a entornos CAD con la única finalidad de servir durante el proceso de restitución y edición cartográfica y el **modelo de explotación**, verdadero soporte al MBA sobre el que se construyen los diferentes entornos que constituyen el ciclo integral de la cartografía. A partir del modelo CAD se construye físicamente el repositorio de datos CAD implementado en ficheros DGN a través de la tecnología de Microstation, mientras que el modelo GIS se aplica sobre la tecnología de Geodatabase de ESRI. El nexo de unión entre los distintos modelos y repositorios de información está formado por el metamodelo y las herramientas que aportan los subsistemas funcionales del MBA.

El sistema para la explotación del MBA tiene como herramienta base la solución ARCGIS desarrollada por la compañía ESRI. La caracterización visual de la información geográfica es fundamental para su correcta lectura e interpretación. Aspectos clave a tener en cuenta son, entre otros, las escalas de visualización, la tipología de las clases y la densidad de fenómenos. Las capacidades de visualización e impresión de ArcGIS facilitan la configuración de la simbología aplicada a cada entidad atendiendo a una serie de factores, entre los que destacan los tipos geométricos, los subtipos y los rangos de escala. Por otro lado, su tecnología permite el desarrollo del software por componentes interoperables y reutilizables.

El modelo de explotación tiene un enfoque orientado a la gestión y a la optimización tanto del almacenamiento de la cartografía como de los distintos procesos que sobre ella se realizan. Hereda todas las características del modelo conceptual aplicado a un entorno físico concreto, el cual consiste en una base de datos corporativa Oracle 9i junto con un gestor de datos espaciales Esri ArcSDE 9.2, lo que le confiere grandes capacidades de

almacenamiento y procesamiento, a la vez de permitir el acceso seguro tanto a la información como a las distintas aplicaciones del sistema, así como la utilización de un estándar para el modelo en la industria del software como UML y la posibilidad de la utilización de herramientas CASE como apoyo al desarrollo del modelado.

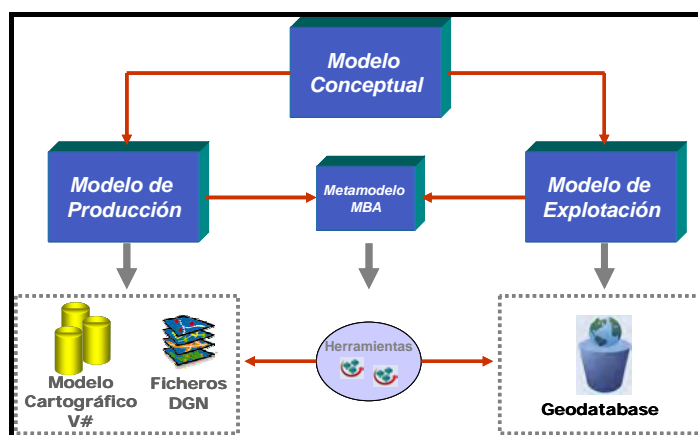


Figura 2. Relación entre los modelos, repositorios y herramientas del MBA

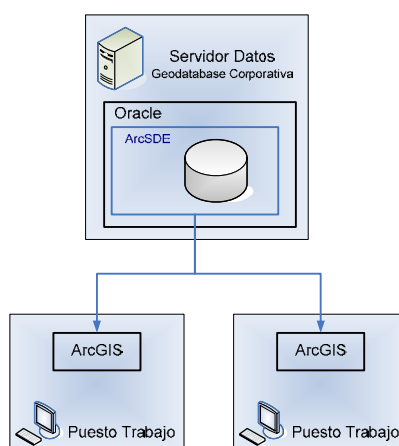


Figura 3. Arquitectura del sistema MBA

La principal característica, tanto del modelo conceptual como del de explotación es su enfoque orientado a objeto. En este enfoque, cada tipo de entidad del mundo real en general es una clase del modelo con una serie de características y cada fenómeno geográfico en particular una instancia de dicha clase que contiene las características de la clase a la que pertenece. Una clase en el modelo de geodatabase viene definida por una serie de atributos que la caracterizan de forma completa y la distinguen del resto de clases del modelo. Dichos atributos pueden clasificarse por su naturaleza en atributos alfanuméricos y atributos geométricos. Los atributos alfanuméricos proporcionan información descriptiva de un objeto concreto de la clase a través de tipos de datos sencillos como textos, fechas o números. Los atributos geométricos proporcionan la información posicional de un objeto.

Un ejemplo de clase del sistema es carretera, incluida en el tema Vía de comunicación. Un objeto de esta clase será una instancia de la misma, es decir una carretera concreta. La carretera se puede representar (en función de la escala o de las dimensiones de la misma) por una línea, normalmente define el eje, y/o por un polígono. Además, la carretera contiene atributos permanentes en todo su recorrido (por ejemplo, la denominación y su tipología jerárquica) y otra serie de atributos que cambian a lo largo de su recorrido (*visto/oculto, a nivel/en puente/soterrado*).

Por último, la clase carretera puede clasificarse por subtipos como por ejemplo *desdoblado/no desdoblado*. La construcción por subtipos nos permite especificar las reglas generales establecidas a nivel de clase base para estos subtipos. Por ejemplo, una carretera desdoblada no permite solapamiento a nivel con otras carreteras, mientras una carretera de tipo no desdoblada permite el solapamiento a nivel con otras carreteras del mismo tipo.

Reglas de comportamiento de los objetos

La orientación a objetos y las extensiones de clase ofrecen la posibilidad de elaborar una cartografía inteligente. La tecnología de ESRI “GeoObject ClassExtensions”, abre la posibilidad de dotar al sistema MBA, de forma sencilla y eficaz, con funcionalidades avanzadas que posibilitan la creación de algoritmos de comportamiento asociados a uno o varios tipos de entidades geográficas definidas en el modelo de datos, y permite incrementar, utilizando la potencia de la programación orientada a objetos, la capacidad de controlar la calidad de la información y automatizar los procesos de edición desde el propio modelo de datos.

Extensiones de clase:

- Permiten definir comportamiento para las entidades (Cartografía inteligente)
- Los comportamientos definidos se ejecutan a voluntad o automáticamente en respuesta a operaciones de la base de datos (creación, edición, eliminación)
- Por ejemplo, en la creación de un borde de camino, automáticamente se busca el eje del camino más cercano y se vincula con el borde creado

Otra de las principales características del modelo es la encapsulación de las entidades o fenómenos geográficos lo que permite el tratamiento unificado y sencillo de los fenómenos y sus distintas propiedades. La encapsulación consiste en agrupar en una misma clase todos los atributos, relaciones, reglas y dependencias de un fenómeno geográfico diferenciado del resto de fenómenos. Con ello se busca la gestión de fenómenos geográficos con el mayor nivel de abstracción posible. Dichos fenómenos son recogidos de forma única en tablas y en torno a ellas se vertebran sus múltiples representaciones geométricas, asociadas de forma normalizada. Así por ejemplo, si se borra un cauce en concreto de la base de datos, se eliminarán de forma automática todos los elementos que dependen de él, contribuyendo de esta forma a asegurar la integridad de la información almacenada en el MBA.

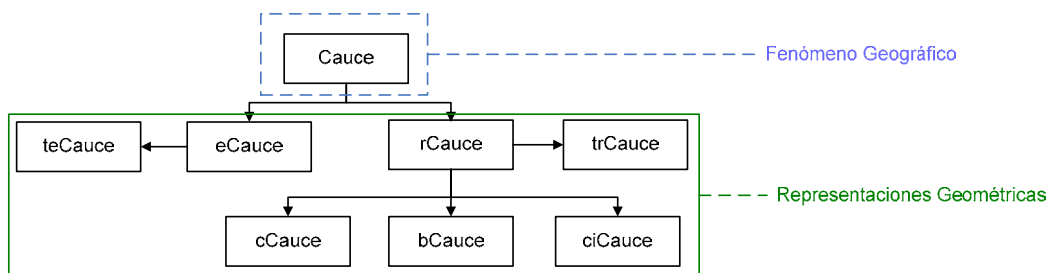


Figura 4. Clase Cauce y representaciones geométricas asociadas

Donde la tabla o fenómeno geográfico propiamente dicho se denota por el nombre sin prefijo, mientras que para una mayor comprensión se han establecido convenciones de notación específicas de prefijos que indican el tipo gráfico. Se incluyen entidades de tipo borde, centroide y cierre, subsidiarias de las entidades geométricas recintos que son de tipo poligonal. De esta forma se permite la representación por arcos y nodos de la información y por otro lado se asegura el mantenimiento de la integridad topológica en otros sistemas o entornos como CAD/CAM y SIG con topología persistente.

Se define la interacción entre los distintos tipos de fenómenos y geometrías a través de reglas lógicas y topológicas, tales como herencias, dependencias, reglas de edición, de topología o de geometría. Además también existe la posibilidad de definir reglas entre los fenómenos de un mismo tipo. Por ejemplo, la vinculación exis-

tente entre la clase de ejes de carretera y la de recintos de carretera está modelada a través de una relación con cardinalidad 1:1, lo que quiere decir que para cada eje solo podrá existir un recinto correspondiente y viceversa, pero a su vez se le han añadido otras reglas más específicas para asegurar que un eje de carretera desdoblado sólo pueda asociarse a un recinto de carretera desdoblado.

l : Elementos lineales (líneas decorativas, construcciones lineales, orografía, etc.) No forman parte de recintos. Ej: lEdificación = Edificaciones Lineales (muralla, esclusa, etc.).
 c : Centroide. Punto representativo interior a un recinto. Ej: cFerrocarril = Centroide de Ferrocarril.
 b : Borde. Límite real de un recinto. Ej: bCarretera = Borde de Carretera. bCamino es la excepción de la regla, pues no existe el recinto de camino.
 ci : Cierre. Límite irreal de un recinto. Ej: ciEmbalseArtificial = Cierre de Embalse Artificial
 e : Eje. Ej: eCanal = Eje de Canal
 r : Recinto. Ej: rDeposito = Recinto de Depósito
 s : Símbolo. Ej: sPuntualHidrografia = Símbolo Puntual de Hidrografía
 t : Texto. Si es seguido de alguno de los indicadores expuestos, indica anotación vinculada.
 Ej: teCanal = Texto asociado a un eje de Canal
 Ej: trCanal = Texto asociado a un recinto de Canal.
 Ej: tUrbana = Topónimo Urbano.

Figura 5. Convenciones de notación utilizadas

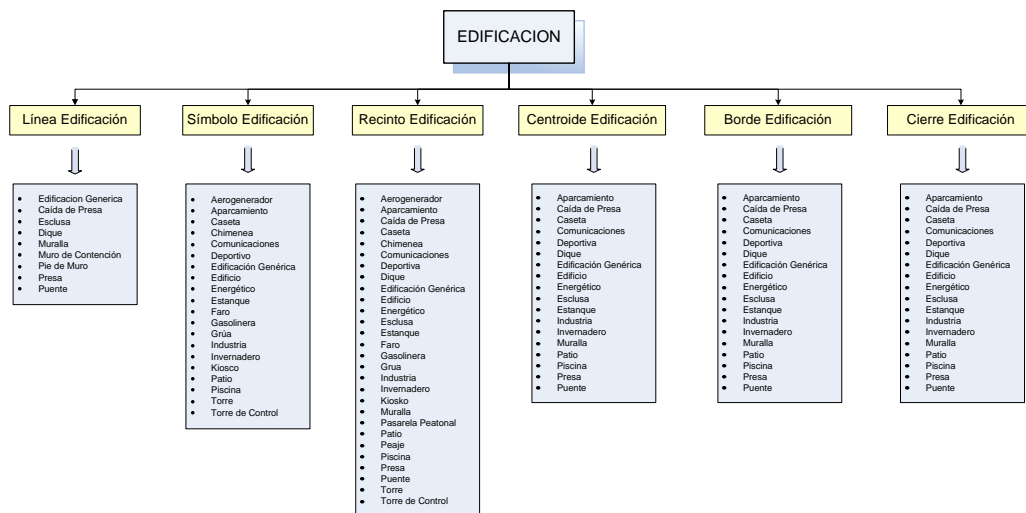


Figura 6. Especialización de las clases geográficas en Subtipos

Dada la modularidad de esta tecnología, no es necesaria su implementación en bloque, sino que pueden irse añadiendo nuevos comportamientos conforme se van detectando las necesidades.

Algoritmos de control de calidad

El modelo incluye una serie de reglas que los objetos deben cumplir para asemejarse más a la realidad y para asegurar un grado de calidad de la información. En este aspecto se han definido condiciones de calidad que aseguran cuestiones referidas a la integridad y coherencia conceptual, geométrica y topológica. Entre estas cabe destacar los controles de omisión/comisión de objetos y de modelo de línea única, aunque el conjunto de reglas implementadas en el sistema es muy amplio y contiene otro tipo de reglas, que garantizan, por ejemplo, que no se crucen curvas de nivel, que no se solapen edificios con carreteras, que un puente siempre se encuentre encima

de un río o que el eje de los ríos vaya siempre en el sentido de aguas abajo. Los algoritmos de calidad se implementan en programas informáticos que validan la información a medida que ésta se va incluyendo en las bases de datos con la estructura del Modelo diseñado.

Las herramientas destinadas al control de calidad contemplan la ejecución de un amplio abanico de validaciones que abarcan todos los requisitos de conformidad con modelo e integridad geométrica exigibles a los datos de entrada. Se tienen en cuenta, entre otros, la adecuación al modelo de datos (vinculaciones al catálogo, representaciones, etc.), reglas de conexión entre elementos, la vertebración de la información espacial (reglas de recinto, reglas topológicas, etc.), la adecuación al relieve (corrección de curvas de nivel, comparación de cotas con los modelos digitales del terreno, orientación altimétrica de ejes de hidrografía, etc.) o la validez geométrica (bucles, elementos duplicados, microsegmentos, etc.)



Figura 7. Entrada a la herramienta para el control de calidad del sistema MBA

Entre otras características, esta herramienta permite: seleccionar las validaciones que se desean ejecutar especificando además ciertos parámetros de ejecución y tolerancias en los controles que así lo requieran, almacenar y recuperar conjuntos de validaciones y parámetros en forma de sesiones o plantillas, seleccionar entidades cartográficas del modelo de datos de captura sobre las que se desee ejecutar las validaciones y ejecución programada en segundo plano.

El resultado de estas validaciones es la generación de una serie de productos (informes en PDF, Shapefiles de incidencias, etc.) que permiten localizar los errores detectados y facilitar su valoración o eventual subsanación.

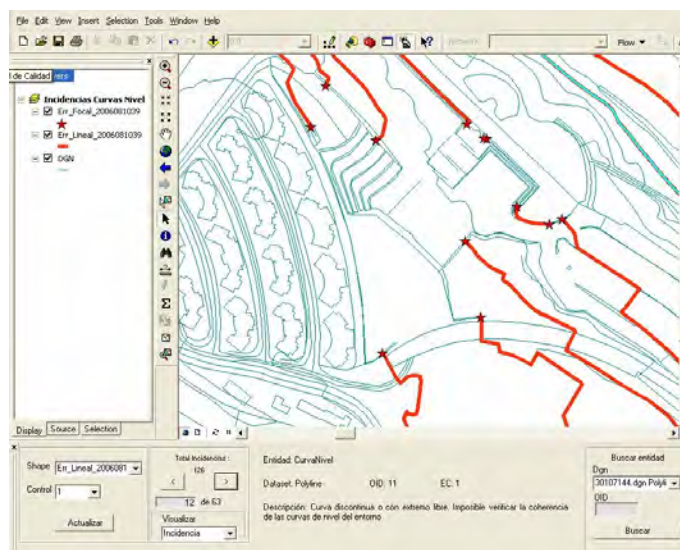


Figura 8. Shape de incidencias para la revisión de las anomalías encontradas

Subsistema de salidas

El subsistema de producción es la parte del sistema destinada a la elaboración de información de usuario final. Contiene herramientas que permiten seleccionar elementos del MBA, combinarlos, transformar su referencia geométrica y establecer la semiología del producto a generar prestando especial atención a la simbología, iconos, toponimia y vistas de tablas alfanuméricas. Este subsistema persigue en definitiva que junto a los nuevos productos de mayor complejidad, se proporcione al usuario otra gama de productos más intuitivos y amigables.



Figura 9. Salida gráfica del MBA y fotograma del vuelo. Hoja 1047 2-3 (detalle)

Metadatos

Los metadatos siguen el estándar del NEM (núcleo español de metadatos) y reflejan la información auxiliar a los datos que el usuario debe conocer: sistema de referencia, modelo de geoide, proyección geométrica, red geodésica de referencia, escalas, órgano productor de la cartografía, fecha de obtención de los datos, responsable de las actualizaciones; en resumen, cualquier información que sea relevante para interpretar mejor el contenido del Mapa

Subsistemas de importación y exportación de formatos.

Las herramientas de importación y exportación permiten un intercambio bidireccional de datos de la Geodatabase hacia el modelo de producción CAD en ficheros DGN que sirve para comunicar los entornos CAD y GIS en los que se ve involucrado el propio sistema MBA, cerrando así el ciclo y permitiendo una realimentación constante de información. De esta manera se consigue que la captura de nueva información no quede en un producto de usuario final, sino que, además, enriquezca la fuente principal de información del sistema y forme parte del núcleo del MBA. Dentro de la tipología de estos procesos de intercambio de información se define la unidad de carga como una hoja 10.000 y la integridad de las transacciones de datos se asegura en todo momento a partir de un mecanismo de versionado para evitar la incorporación de información no validada.

Además permiten obtener la información de la Geodatabase mediante procedimientos y formatos orientados a los usuarios finales, así como extracciones parciales sobre la información contenida en la base de datos de explotación, en las que se puede configurar a medida un proceso de recorte atendiendo a una serie de parámetros definidos por el usuario, entre los que destacan el ámbito espacial, las entidades a considerar y los formatos de salida que incluyen tipos CAD como DXF, formatos raster, geodatabase de ArcGIS, coberturas o shape.

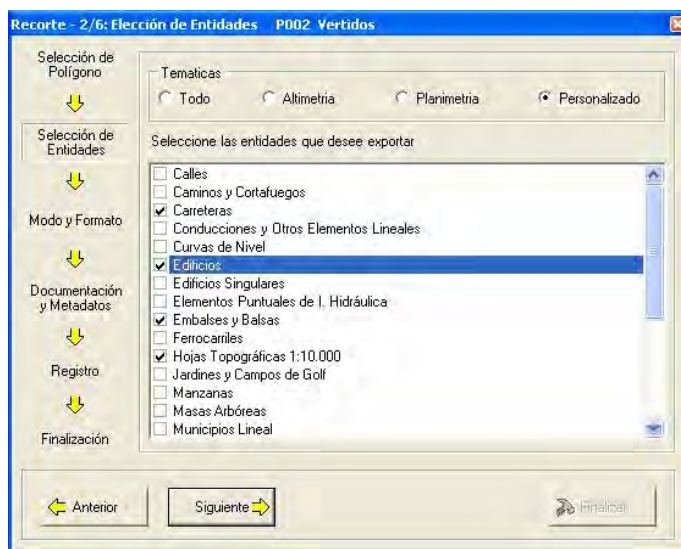


Figura 10. Selección de entidades para la exportación

Norma cartográfica de levantamiento de información

En paralelo a la realización del Mapa se está elaborando una Norma Cartográfica que detalla los aspectos técnicos que debe cumplir la cartografía básica de Andalucía para estas escalas territoriales. Dicha norma establece, entre otras, aquellas características que resultarán un factor necesario para que una cartografía adquiera el carácter de oficial.

En cualquier caso, estas normas no deben ir nunca en perjuicio de los estándares establecidos (p.e.: familia ISO 9100, OGC, NEM) o de la normativa existente (p.e.: Inspire, Decreto 141/2006, de 18 de julio).

Realimentación

Una de las cuestiones fundamentales en Cartografía, quizás más importante que la elaboración de un mapa en sí, es su mantenimiento. En este sentido el MBA se concibe como un sistema complejo que permite una realimentación constante de información. De esta manera se consigue que la captura de nueva información no quede en un producto de usuario final, sino que, además, enriquezca la fuente principal de información del sistema y forme parte del núcleo del MBA.

Herramientas de gestión del sistema

Las herramientas de gestión se incorporan en el sistema MBA con el objetivo dar soporte a la planificación y seguimiento de las tareas de carácter técnico relacionadas con la producción del Mapa Topográfico de Andalucía. De esta forma se puede optimizar el seguimiento y supervisión de los trabajos, así como mejorar la asignación y gestión de los recursos disponibles.

Cada tarea a realizar queda registrada en el sistema, asociada a su expediente y a las hojas que estén involucradas, el supervisor las asigna a los operadores para ser realizadas, y estos las consultan en su panel de trabajos y actualizan el estado de las mismas cuando hay algún avance, lo queda a su vez también registrado el panel del supervisor, quedando así centralizado a través del sistema todo el ciclo de seguimiento, del que además se podrán obtener informes de seguimiento de hojas, trabajos y expedientes. Esto permite una gestión mucho más cómoda y disminuye el coste de su realización.

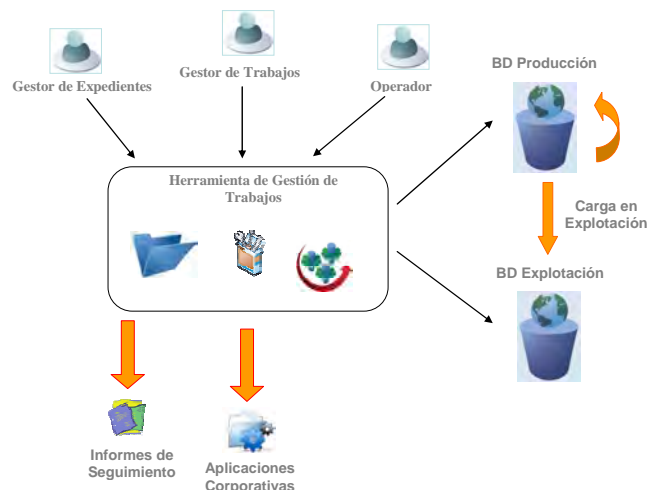


Figura 11. Diagrama de flujo de la herramienta de gestión

ESTADO ACTUAL DE DESARROLLO DEL MBA

Actualmente el MBA se encuentra en pleno desarrollo. Los Modelos de datos de la realidad que se quiere representar tanto conceptual como implementados en geodatabase están diseñados y son definitivos, salvo cambios puntuales que surjan a lo largo de la elaboración del Mapa. Las rutinas de validación de los datos y las utilidades de carga e importación están desarrolladas en su mayoría, a falta del desarrollo de algunas de ellas sobre geodatabase. El subsistema de exportación se encuentran en pleno desarrollo. Y el subsistema de producción se encuentra en una versión preliminar.

El núcleo principal del Mapa se elabora sobre el sistema de referencia ETRS89, utilizando el modelo de geoide k-ibergeo, con proyección UTM en los husos 29 y 30 y utilizando el marco geodésico de referencia de la RAP (Red Andaluza de Posicionamiento). Todos sus elementos se recogen en tres dimensiones.

El desarrollo del sistema y la captura de datos del MBA comenzó en 2006, y actualmente las fases de restitución y edición, que pueden ser las más significativas para estimar el estado de los trabajos, ya que son las más costosas, han cubierto el área que se muestra en la figura 12.

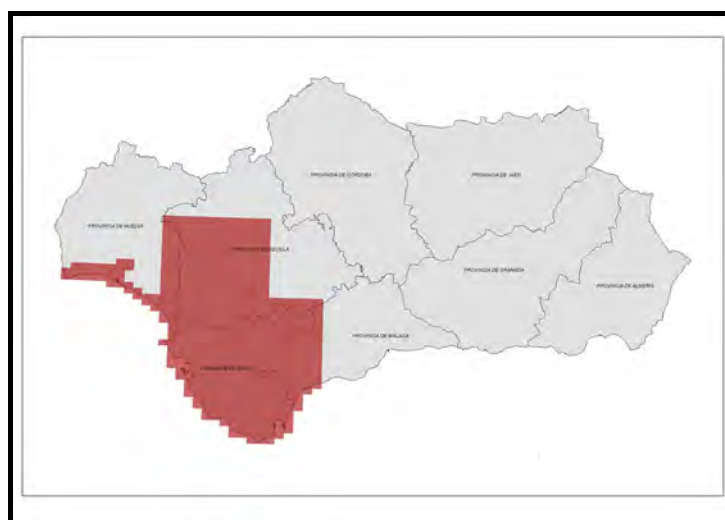


Figura 12. Estado actual de ejecución

CONCLUSIÓN

Con el Mapa Base de Andalucía se obtiene una base cartográfica territorial que ofrece una visión de gran calidad del territorio, con el valor añadido de su versatilidad, permitiendo múltiples combinaciones de los elementos contenidos en ella. Con esto se dará servicio a un mayor espectro de usuarios que conseguirán una información de nuestro territorio más veraz y adaptada a sus necesidades.

Interián Pérez, Sara y Álvarez Portal, Ricardo (2008): Sistema digital de información georreferenciada para la agricultura urbana de un municipio de la capital cubana. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la UPLGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 267-277. ISBN: 978-84-96971-53-0.

SISTEMA DIGITAL DE INFORMACION GEORREFERIDA PARA LA AGRICULTURA URBANA DE UN MUNICIPIO DE LA CAPITAL CUBANA.

Interián Pérez, Sara y Álvarez Portal, Ricardo

Empresa de Proyectos Agropecuarios Ciudad Habana del Ministerio de la Agricultura de Cuba. Ave. Independencia Km 1 ½, Cerro. C.Habana, geomatica2@enpach.com.cu, geomatica12@enpach.com.cu

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo la presentación de una aplicación SIG a la agricultura urbana y demostrar cómo esta herramienta tecnológica ha dotado a los directivos de la misma, con una capacidad para trabajar de forma eficiente y con más tino.

Constituye la primera aplicación de la Geomática a la agricultura urbana a nivel municipal, de aquí se desprende su novedad científico técnica y tiene como misión fundamental apoyar la gestión, el planeamiento y las reordenaciones de las áreas que son administradas por la Granja Urbana del municipio Playa.

Tener organizado de forma sistémica toda la información tanto estadística como espacial de una empresa productiva y poder manejarla en el momento preciso, sitúa a una entidad de este tipo a la altura del desarrollo mundial en la gestión empresarial, ya que puede aportar soluciones que conlleven al aumento de la productividad, manejo adecuado de los recursos financieros y naturales, a la satisfacción de las necesidades de la sociedad y a la protección del medio ambiente.

Palabras Clave: Geomática, Agricultura Urbana, Geosistema

ABSTRACT

Goal of the present paper is to show the application of GIS to urban agriculture and demonstrate how this tool has endowed the management of it, while increasing its efficiency and precision.

It constitutes the first application of Geomatics to urban agriculture at municipal level in Cuba and represents a new scientific technique that has as fundamental mission to be a support to management, planning and rearrangement of areas managed by the Urban Farm of the municipality Playa.

The ability of such an entity to perform a systemic organization of both statistical and spatial information of a productive enterprise as well as to handle it at the exact moment, places this entity at a world level of development in terms of business management of financial and natural resources, the satisfaction of the needs of society, and the environmental protection.

Key words: Geomatics, Urban Agriculture, Geosystem

INTRODUCCIÓN

La decisión del Estado Cubano de crear mejores condiciones organizativas y de la infraestructura en la esfera de la producción de productos agropecuarios en las zonas urbanas, y perfeccionar los mecanismos económicos, gerenciales y comerciales de las distintas entidades agrícolas del Ministerio de la Agricultura, así como de aquellas que pertenecen a la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP), está fundamentada en la necesidad de alcanzar a corto plazo el autoabastecimiento agropecuario de las ciudades, en particular de la Ciudad de La Habana, lo que exige un manejo más adecuado del recurso tierra y una labor más eficiente del planeamiento y de la dirección de la producción agrícola en este complejo geosistema para cumplir con los objetivos del abasto alimentario.

Los responsables de dirigir entidades agrícolas de diversos tipos y de variadas extensiones territoriales, deben usualmente tomar decisiones que estén encaminadas a elevar la eficiencia de la producción en este importantísimo sector de la economía, las cuales se sustentan en el manejo de grandes volúmenes de datos diversos e informaciones de distinta índole, que son generados por numerosas fuentes. Es indudable que el análisis multilateral en estos casos resulta muy complicado.

En la actualidad, los directivos de entidades agrícolas del país cuentan con herramientas poderosas para diseñar, desarrollar y manejar Bases de Datos con distintos programas profesionales. No obstante, en su inmensa mayoría, los mencionados directivos no cuentan con programas que manejen informaciones georreferidas; o sea, no utilizan aquellas herramientas computacionales que tienen que ver con el manejo de datos e informaciones del territorio y que poseen un componente espacial georreferenciado: *geoinformación* (o sea, se conoce la posición de los elementos espaciales en un sistema de coordenadas geodésico). Esto quiere decir que a las consultas a las bases de datos de **qué, cuánto, cuándo** y otras tradicionales, se puede agregar **dónde**, lo que implica contar con una característica básica cuantitativa de carácter geográfico: las *coordenadas*.

La tecnología SIG se ha empleado, se emplea y se seguirá empleando cada vez más en la agricultura, debido a sus ventajas de uso y a su utilidad práctica en este sector económico, ya que siendo ésta el arte de cultivar los suelos para hacerlos producir en interés de la alimentación de personas y animales, su escenario productivo ocupa extensos territorios del país y es una actividad socioeconómica de una importancia tal, que el sustento de alimentos de los humanos depende en un 80% de ella, por lo que se requiere que el proceso agrícola sea eficiente.

En las zonas urbanas la agricultura es una actividad *atípica*, teniendo en cuenta que en éstas usualmente el uso de los suelos está dirigido a la construcción de viviendas, industrias, hoteles, infraestructura de servicios, centros de educación y a otras actividades.

No obstante, siempre ha existido un componente de la agricultura en las ciudades, como es el caso de huertos y jardines en los más disímiles lugares de las mismas. Según algunos estudiosos de este tema, la práctica de producir alimentos agrícolas en las zonas urbanas se remonta a las ciudades mayas, aztecas e incas, en el antiguo Egipto, la India, China, etc. A través de los siglos se han desarrollado técnicas de cultivo que han hecho posible que se pueda cultivar en lugares donde el suelo es pobre y en áreas pequeñas, como es el caso de la hidroponía y la organoponía.

Tradicionalmente, en Cuba se ha cultivado en zonas urbanas y suburbanas, en patios y jardines, así como en las márgenes de los sectores urbanos de los ríos.

En la década de los años noventa, en la provincia Ciudad de La Habana comienza a tomar fuerza un movimiento productivo agrícola urbano que estuvo impulsado por la crisis económica y la escasez de alimentos provocada, entre otros factores, por la disminución de la producción agrícola y el derrumbe de los sistemas de acopio, la desaparición de los mercados de productos cárnicos provenientes de la producción pecuaria, entre otros, lo que llevó a la depresión del abasto alimentario agropecuario a la capital cubana.

Se observó entonces un proceso de aprovechar al máximo las potencialidades de las tierras cultivables en la capital del país, tratando a la vez de accionar un sistema agrícola de nuevo tipo: Programa de Agricultura Urbana.

Considerando el posible impacto ecológico en el proceso de incentivar la agricultura urbana, se ha orientado llevar adelante esta actividad sin perjudicar el medio ambiente del ecosistema urbano, y que la influencia contaminante de este último no influya en la calidad ecológica de la producción de alimentos.

En el caso de la agricultura urbana, se ha profundizado en el análisis de la situación de las áreas disponibles dentro de la ciudad y en su periferia, y en las causas que impidan una explotación agrícola intensiva del espacio urbano que no esté dentro de la categoría de suelo con potencial urbanizable, manteniendo, como se dijo, el control para que no ocurra una eventual contaminación de los productos agrícolas por diversas vías (aérea, por el agua utilizada, etc.).

En estos años, en diversos espacios de la capital y otras ciudades, surgieron organopónicos; se creó un movimiento de huertos y patios familiares; se fue estableciendo una red de puntos de venta de productos agrícolas y una ampliación de la red de mercados agropecuarios, imponiéndose la adecuación de impuestos con

un menor gravamen para la capital, con el fin de incentivar la venta en ella de producciones agropecuarias provenientes de otras provincias. Es de destacar que en la actualidad este movimiento se ha extendido por todo el archipiélago cubano, creándose cerca 3 800 organopónicos, 6 900 huertos intensivos, 100 000 micro huertos caseros y se habilitaron para esos cultivos 139 960 parcelas, organizados en 25 subprogramas que garantizan la diversidad de productos cada vez más demandados por la población que ha adquirido nuevos hábitos alimentarios.

Para dar una idea de la magnitud de ese movimiento popular, basta decir que cerca de un millón de cubanos se vinculan a la actividad, convirtiéndose la misma en una importante fuente de empleo, donde la mujer tiene una alta participación.

Según expertos en la materia, la agricultura urbana, desarrollada ampliamente en Cuba, está considerada como una herramienta concreta para favorecer la seguridad alimentaria y la nutrición, pasando a ser de alternativa a sustento básico.

ZONA DE ESTUDIO

El Municipio Playa de la provincia Ciudad de La Habana es un territorio eminentemente costero y urbanizado con un área aproximada de 36 km². Cuenta con un total de 187 985 habitantes distribuidos en 8 Consejos Populares*. Su territorio comprende parte del área de las cuencas hidrográficas de los ríos Quibú, Jaimanitas y Santa Ana.

A pesar del grado alto de urbanización que presenta el municipio, las actividades agrarias se han desarrollado en el mismo, concentrándose en los Consejos Populares Santa Fé, Siboney y Cubanacán (Figura 1), aunque en los restantes Consejos también se realiza esta actividad. Aquí están presentes 24 subprogramas de la Agricultura Urbana del país.

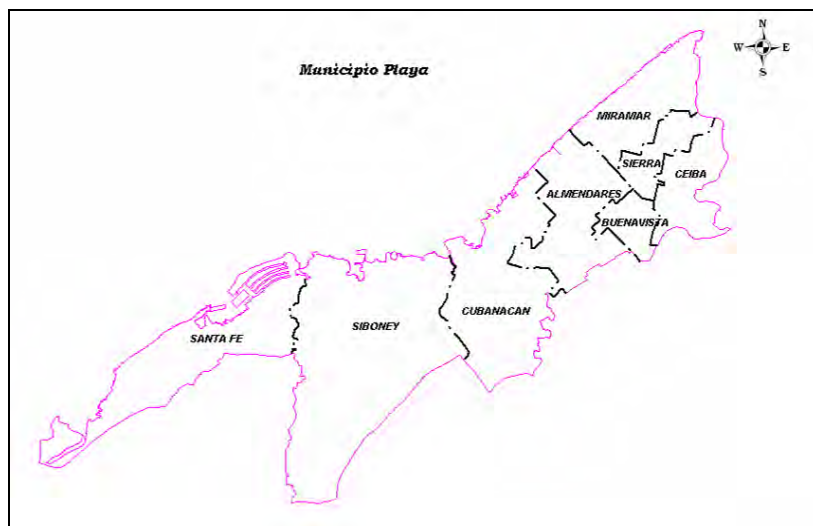


Figura 1. Consejos Populares del Municipio Playa

**Consejos Populares: Unidad Electoral Mínima de un municipio.*

El sistema de distribución asociado a la Granja abarca a toda la población del Municipio, así como a 97 escuelas y círculos infantiles, 9 centros de la salud, 10 centros del sistema de atención a las familias de bajos ingresos, 4 unidades militares y 52 centros y organismos estatales, entre los que se destacan 10 centros del Polo Científico. En el municipio se observan tres tipos de uso del área agrícola (Tabla 1) organizados en diferentes escenarios productivos (Tabla 2).

Tabla 1. Uso del área agrícola del municipio

Área Agrícola Total	530,85 Ha
Cultivos Varios	422,37 Ha
Forestal	21,23 Ha
Ganadería	71,89 Ha
Bajo Riego	108,82 Ha
Deficientemente Explotada	15,36Ha

Fuente: Informe sobre el Programa de Integral de Desarrollo de la Agricultura Urbana, Municipio Playa. Junio del 2006.

Tabla 2. Escenarios productivos

Escenario Productivo	Cantidad	Área (Ha)
CCSF*	3	137,01
UBPC*	1	13,42
Patios	7700	54,33
Parcelas	430	67,8
Autoconsumo	8	216,2
Otros Organismos	7	37,29
Total	8412	526,05

CCSF y UBPC: Formas de producción agropecuaria en que se organizan agricultores del país*

Este Municipio se caracteriza a su vez por tener un alto número de centros de trabajo, hoteles, embajadas y otras instituciones extranjeras, las que reúnen hasta el 60% de los clientes del sistema de comercialización de las cooperativas y la granja, adicional a sus habitantes. Según este cálculo, se abastece a más de 500 000 personas.

METODOLOGÍA

Entre las primeras tareas para llevar a cabo la aplicación del Sistema Digital de Información Georreferida que se presenta, figuraron la búsqueda, recopilación y procesamiento de la información relacionada con los objetivos del Proyecto. Por otra parte, se procedió a la consulta con los dirigentes y trabajadores de la Granja Urbana del municipio objeto de estudio, para definir la información temática y estadística a manejar por el Sistema y lograr un diseño del mismo que respondiera a las necesidades reales de la entidad.

La selección de bases cartográficas, escala de salida, y los software a utilizar constituyeron otras tareas fundamentales para el éxito de los objetivos propuestos, así como la definición del proceso tecnológico general, de variables y atributos, capas bases del Sistema y de las bases de datos externas.

Se decidió que los datos a introducir y manejar en calidad de información espacial y de atributos temáticos, estuvieran agrupados por capas temáticas para un espacio geográfico que abarca todas las áreas del Municipio Playa. Las bases de datos alfanuméricas se manejaron en formato mdb, aunque los datos existentes procedieran de diferentes fuentes.

Las entidades espaciales topográficas (básicas) fueron tomadas del mapa topográfico a escala 1:10 000 de todo el territorio que cubre la Granja y zonas aledañas. También se obtuvieron entidades espaciales con mayor grado de detalle y exactitud a partir del mapa a escala 1:2 000 y de las mediciones con GPS. La Base Cartográfica Digital está georreferenciada en el sistema de coordenadas planas rectangulares del Sistema Geodésico Nacional (Datum Geodésico NAD27, Cuba Norte). La proyección cartográfica utilizada es la Cónica Conforme de Lambert y el elipsoide de referencia el de Clarke 1866.

En las tareas del SIG se emplearon diferentes hojas de los mapas topográficos a distintas escalas (confeccionados y editados por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía en las décadas de los años 70 y 80 (Tabla 3)

Tabla 3. Mapas topográficos que cubren el área de estudio

Escala del mapa	Denominación de la hoja	Nomenclatura de la hoja
1: 50 000	La Habana	3785- III
1: 25 000		3785-III a,b,c,d
1:10 000		3785 III-c-1
1: 2 000		64-15-19
		64-15-20
		64-15-24
		64-15-25
Otros *		

* Se utilizaron otros mapas de la Empresa de Proyectos Agropecuarios de Ciudad de La Habana.

Para el desarrollo e implementación del Sistema, se emplearon dos software comerciales, uno de Sistema de Información Geográfica (SIG) y otro para el procesamiento digital de las imágenes.

Como Software de SIG se empleó el **Mapinfo 8.5** y su módulo raster **Vertical Mapper 3.0**, debido a las posibilidades de visualización y análisis geográfico de todos sus datos, lo cual ayuda a planear, dirigir y situar los recursos de forma más eficiente. Permite, además, ofrecer soluciones para análisis de mercados, elección de nuevas ubicaciones y análisis por zonas, todo de forma amigable.

El **ENVI 4.0** fue el programa utilizado para el trabajo con las imágenes, como fuentes de datos precisas y actuales del territorio, que cuenta con una imagen tomada en el año 2 002 por el sensor ETM+, del Programa Espacial LANDSAT -7 (EE.UU.), y una del programa espacial francés SPOT-4, tomada en 1999. Mediante este software profesional se pudo efectuar clasificaciones supervisadas y no supervisadas de imágenes multispectrales para obtener mapas temáticos, muy utilizados para el estudio de los recursos naturales y análisis medio ambientales. Con el ENVI también se georreferenciaron las hojas de los mapas topográficos en formato raster, entre otras tareas.

Los datos alfanuméricos (de atributos) necesarios para la carga del Sistema fueron aportados, en primer lugar, por la Dirección de la Granja Urbana, así como por los directivos de sus entidades agrícolas, aunque también se obtuvieron otras informaciones del Instituto de Planificación Física, Comité Estatal de Estadística e Instituto de Suelos, por citar algunas de ellas. De igual forma la realización de encuestas a productores y consumidores aportaron información de interés para el análisis de la comercialización de los productos y el comportamiento de la oferta y demanda de los mismos.

La situación geográfica de la región donde se realizaron los trabajos es mostrada en un espaciomapa confeccionado con una imagen satelital de alta resolución espacial (Figura 2).

Aunque no existe ahora la posibilidad de aplicar con toda sus potencialidades la percepción remota de muy alta resolución espacial en los estudios de la Granja Urbana (imágenes Ikonos, Quick Bird, y otras), se puede plantear que en un futuro el uso de dichas imágenes satelitales se convertirá en una herramienta sumamente útil para obtener información georreferida. Se debe tener presente que el uso de imágenes de este tipo, adquiridas periódicamente, así como el empleo de Sistemas de Posicionamiento Global Diferencial permitirá actualizar periódicamente la base cartográfica digital a grandes escalas y monitorear los cambios en el uso de la tierra, de los límites de distintas coberturas naturales, viales y otros elementos del paisaje y valorar los daños provocados por desastres de todo tipo.

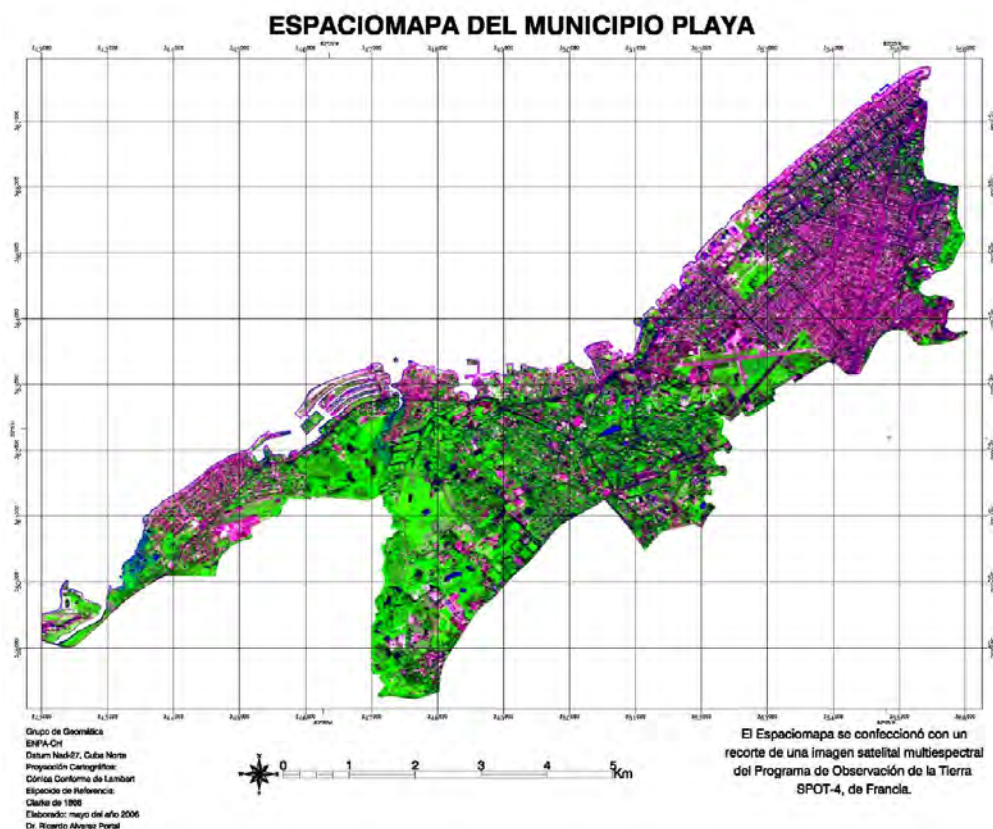


Figura 2. Espaciomapa de la zona donde está enclavada la Granja Urbana (Municipio Playa)

A continuación, se exponen algunas características del SIG-Granja Urbana, especificándose las capas temáticas y otras informaciones acerca del Sistema. Se debe tener en cuenta que las entidades espaciales en la Base Cartográfica Digital pueden ser representadas en forma puntual, lineal y areal (superficie).

Capas temáticas bases:

- Ubicación y límites del área de estudio. (Lineal y Areal)
- Límites territoriales de la División Político Administrativa (Lineal y Areal)
- Relieve (Lineal y Areal)
- Hidrografía (Lineal y Areal)
- Vegetación (Areal)
- Viales (Lineal)
- Infraestructura de la Granja (Puntual, lineal y areal)
- Suelos (Areal)
- Puntos de Venta (puntual)
- Instalaciones de Educación, Salud y otras a las que la Granja oferta productos (puntual)
- Casas de cultivo (puntual)
- Sistema de riego como pozos y turbinas (puntual)
- Parcelas según su uso (areal)

- Otras

Información alfanumérica (Atributos de las capas temáticas):

- Datos de la Granja en general y a nivel de unidades productivas
- Datos de los Puntos de Venta
- Otras

Tabla 4. Ejemplo de la denominación de algunas de las capas espaciales del SIG-Granja Urbana

Nombre (Nemotécnico) de la capa	Tipo	Descripción
LMUNI	Lineal	Límite del municipio
LIMGRANJA	Lineal y Areal	Límites y área de la GRANJA URBANA
LIMFINCA	Lineal y Areal	Límites y área de fincas seleccionadas
LIMPARCEL	Lineal y Areal	Límites y área de las parcelas
RELIEV	Lineal	Curvas de nivel
VEGET	Areal	Vegetación
CANAL	Lineal	Canales
POZOS	Puntual	Pozos
TURBINA	Puntual	Turbinas de las fincas
VIALES	Lineal	Viales
CASAS DE CULTIVO	Areal	Casas de Cultivo Protegidos
EDIFICACIONES	Areal	Construcciones de diferente uso
PARCELAS	Areal y puntual	Localización de las fincas y parcelas
TANQUES	Puntual	Tanques de agua
PUNTOS DE VENTAS	Puntual	Localización de todos los puntos de venta de la Granja Urbana
SAF	Puntual	Sistema de Ayuda a la Familia vinculados
C EDUCACIÓN	Puntual	Centros de Educación vinculados
TENENTES	Puntual	Dueños de tierra
OTRAS CAPAS	Areal, puntual y lineal	Otras entidades de interés

Las escalas de los mapas que se imprimieron estuvieron de acuerdo a las necesidades de los clientes: 1: 10 000 (todo el territorio de la Granja Urbana). Otras salidas gráficas se realizaron a escala 1:2 000.

RESULTADOS

La aplicación SIG que se ha desarrollado, se caracteriza por las siguientes posibilidades técnicas:

- Por su capacidad para manejar bases de datos espaciales y de atributos heterogéneos.
- Da la posibilidad de interrogar a la base de datos sobre la existencia, localización y propiedades de los datos espaciales.
 - Elevada eficiencia en el manejo de las preguntas o consultas (es sumamente interactivo).
 - Flexibilidad y adaptabilidad. Puede ser explotado por varios usuarios que tengan diferentes necesidades y en un amplio diapasón de aplicaciones. El software empleado permite una gran flexibilidad en cuanto a la asimilación de datos procedentes de varias fuentes (formatos).
- Por primera vez en Cuba un municipio urbano cuenta con toda la información de su territorio destinado a la producción agropecuaria, organizada y manejada en ambiente SIG, con la cual es posible el análisis de

múltiples cuestiones y la modelación de procesos relacionados con el comercio de los productos, por citar un ejemplo.

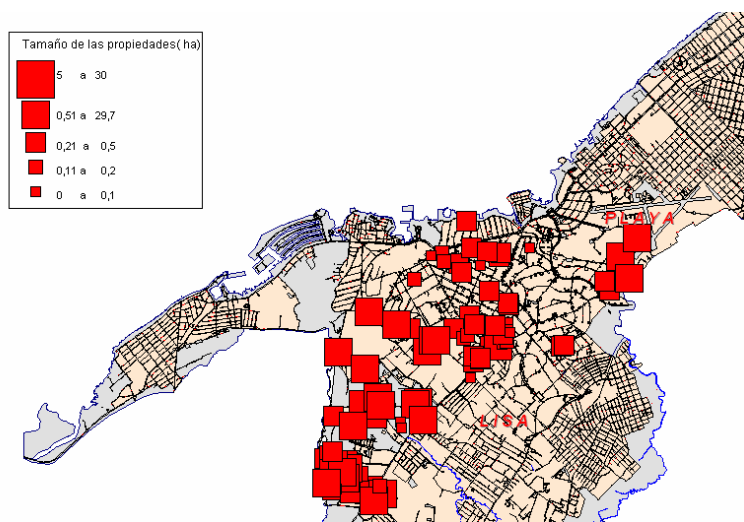


Figura 3. Ejemplos de mapas temáticos obtenidos en el Sistema: tamaño de las propiedades de los tenentes de tierras

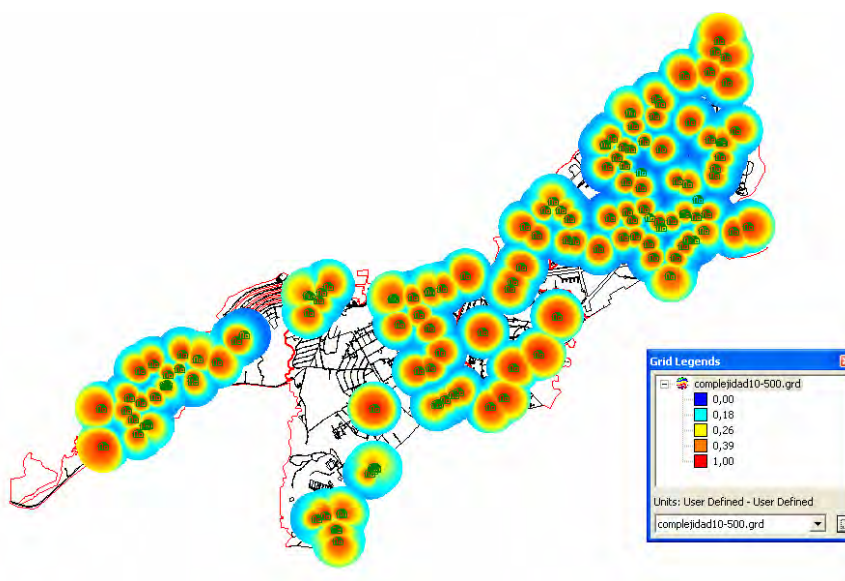


Figura 4. Ejemplo de mapa temático obtenido en el Sistema: área de Influencia de los Puntos de Venta según su complejidad, dada por el tipo de productos que los mismos ofertan (Distancia lineal de 500 m)

CONCLUSIONES

La vinculación entre las bases alfanuméricas que se manejan y consultan en el Sistema y las bases cartográficas digitales permite, entre otras tareas, realizar planeamientos, tomar decisiones sobre distintos problemas, llevar a cabo mediciones de distancias, áreas y perímetros, además de dar la posibilidad de actualizar rápidamente las bases de datos.

La aplicación de las herramientas del Sistema de Información Geográfica en el funcionamiento de la Granja, logra la integración de distintos atributos orientados al análisis espacial, con los cuales se confeccionan nuevos mapas.

Con la aplicación del SIG, se logra la interrelación de capas de distintos tipos, permitiendo el análisis de diversas temáticas asociadas al sector agropecuario, de forma simultánea.

Se ha desarrollado por primera vez en la Empresa de Proyectos Agropecuarios de Ciudad de La Habana una aplicación SIG para el manejo, análisis, integración y manipulación de informaciones relacionadas con la actividad empresarial del sector agropecuario de un municipio urbano, confeccionándose diversos mapas temáticos sobre formato digital y analógico, en conjunto con especialistas de las dos empresas.

Efectividad del uso del SIG-Granja Urbana en la visualización de patrones espaciales y relaciones entre los datos de forma rápida y eficiente, sin necesidad de revisar los datos mediante la manera tradicional de representación gráfica y tabular.

La realización de este trabajo ha puesto a la Granja Urbana de Playa en condiciones de abandonar el empirismo y, desde sus oficinas, estudiar *a priori* qué deben hacer antes de incurrir en gastos superfluos o injustificados.

Los estudios de la comercialización, de las transportaciones, de las áreas productivas, y otros que pueden realizarse con este Sistema contribuyen al ahorro de recursos de todo tipo para esta entidad y por ende a una mayor rentabilidad de la misma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Shi, W.Z. y Tian, Y. (2006): A hybrid interpolation method for the refinement of a regular grid digital elevation model. *International Journal of Geographical Information Science*, 20 (1): 53-67.

Palmer, H. y Pruett, L. (2000): GIS Applications to Maritime Boundary Delimitations. En: D. Wright y D. Barrett (Ed.), *Marine and Coastal Geographical Information Systems*. Taylor and Francis, Londres, pp. 279-296.

Álvarez P.R. et al. (2001): *Metodología para la creación y actualización de la cartografía temática del Sistema de Información Geográfica del Proyecto GEF/PNUD CUB/98/g32 mediante Percepción Remota (PR) y Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Inicio de la captura de datos mediante PR y GPS*. IGT, La Habana (inédito).

Álvarez P.R. y Interián P.S. (2000): Experiencias de la implementación de un SIG en el Municipio Especial Isla de la Juventud, Cuba. *IX Simposio Internacional SELPER*, Argentina.

Aronoff, S. (1989): *Geographic Information Systems. A management perspective*. Ottawa. WDL. Publications.

Asamblea Nacional del Poder Popular de la República de Cuba (2002): *Ley Número 95: Ley de Cooperativas de Producción Agropecuaria y Créditos y Servicios*. Editado en la Gaceta Oficial de Cuba.

Barredo, C. J. I. (1996): *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Ed. RA-MA, Madrid, 264 pp.

Canadian Initiatives in Developing GIS through Cooperation. *Paper presented at the URISA's Third Caribbean GIS Conference*. 17p. www.cuso.org/files/urisa_cuso_en.pdf

- Comité de Estadísticas de Cuba (2002): *Censo de Población y Viviendas de Cuba*. 400 pp.
- CTA (2005): *Participatory GIS, ICT Update, a current awareness bulletin for ACP agriculture*. Issue 27. [http://ictupdate.cta.int/en/\(issue\)/27](http://ictupdate.cta.int/en/(issue)/27)
- Dangernond, J. (1991): Hacia donde va la tecnología SIG ?. *Mapping*, 2: 58-66.
- De la Cuesta, G. (2003): *Efectividad Empresarial. Visionado de cuatro cursos*.
- Escandón C. (2003): *Problemas prácticos en el análisis de datos espaciales*. Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo". A.C. México. 10 pp.
- EarthTrends: <http://earthtrends.wri.org>
- Gaceta Oficial, julio del 2005, Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros, (2005): *Reglamento de la Ley Número 95. Ley de Cooperativas de Producción Agropecuaria y de Crédito y Servicios*.
- Granja Urbana Playa. (2006): *Informe sobre el Programa de Desarrollo Integral de la Agricultura Urbana, Municipio Playa*.
- Goodchild, M. F. (1992): Geographical Information Science. *Int. J. Geographical Information Systems*, vol. VI, N°. 1.
- Google Earth, (2007): <http://earth.google.com>
- Hidalgo, R., Trumper, R. y Borsdorf, A. (Eds.) (2005): *Transformaciones urbanas y procesos territoriales. Lecturas del nuevo dibujo de la ciudad latinoamericana*. Serie GEOlibros, Academia de Ciencias Austriaca y Okanagan University College. Santiago.
- IIED y CTA. (2006): *Mapping for change: practice, technologies and communication*. Participatory Learning and Action, N° 54. 150 p, www.iied.org/NR/agbioliv/pla_notes/pla_54_CDRom.html
- ITC, Enschede, Países Bajos y UNESCO (1984): *Marco conceptual y directrices para crear Sistemas de Información Geográfica*. Programa general de información y UNISIST, UNESCO, París.
- Interián, P. S., R. Álvarez, J. Heredia y Luezo, C.M. (2005): *Informe Final del Proyecto Científico-Técnico "Estudio de la CCSF "Árides Estévez Sánchez", Mapificación Digital y Creación de Condiciones para su Desarrollo"*.
- Interián P. S. y Álvarez P.R. (2006): *Informe Final del Proyecto Científico-Técnico "Diseño, desarrollo e implementación del Sistema Informativo Georreferido Nacional Digital del Grupo de Porcino del MINGRI" (SIG-P)*.
- Noreen P. F. (2002): *Sistemas de Información Geográfica en Belice*. Centro de Información de Tierras (LIC) - Belice. 10 pp.
- Peralta A., R. Peralta, C. Díaz, E. Vicente y J. Prado. (1991): Estudios agrícolas y forestales con imágenes multiespectrales de alta resolución. *II Reunión Nacional SELPER*, Aguascalientes. México.

SERTIT: *Regional Service of image treatment and remote sensing.* http://sertit.u-strasbg.fr/english/en_welcome.htm

Sistemas de Información Geográfica (SIG) (1990): *Conceptos, estructuras y aplicaciones en la captación, proceso y análisis de datos sobre ambiente y recursos naturales.* LC/R887 (Sem. 54/11), Santiago de Chile, 51 pp.

Julián Buj, Anna (2008): La localización de la actividad turística de Salou (Tarragona) mediante SIG. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 278-289. ISBN: 978-84-96971-53-0.

LA LOCALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD TURÍSTICA DE SALOU (TARRAGONA) MEDIANTE SIG

Julián Buj, Anna

Grup de Recerca "Anàlisi Territorial i Estudis Turístics" Unitat de Geografia. Universitat Rovira i Virgili. Imperial Tarraco, 1 43005 Tarragona. anna.julian@urv.cat

RESUMEN

El concepto de ciudad se puede definir a partir de diversos criterios como el del volumen de población, dimensión del territorio ocupado, etc. Estas variables, a pesar de su carácter cuantitativo y ser conocidas y utilizadas extensamente a nivel mundial, se ajustan a cada territorio por lo que dejan de ser comparables. En este caso se propone el análisis de una ciudad a través de sus características funcionales y se presentan los resultados obtenidos del análisis de la localización de la función turística en el municipio de Salou (Costa Dorada, Tarragona). Para su realización se han localizado, a partir de las direcciones postales, las licencias fiscales de dos de las variables más representativas de la actividad turística, como son las empresas dedicadas al alojamiento y a la restauración. Estas operaciones han permitido obtener el escenario de distribución de la función turística de Salou, y plantear una zonificación de la misma.

Palabras Clave: Función urbana, Localización, Turismo.

ABSTRACT

El concepto de ciudad se puede definir a partir de diversos criterios como el del volumen de población, dimensión del territorio ocupado, etc. Estas variables, a pesar de su carácter cuantitativo y ser conocidas y utilizadas extensamente a nivel mundial, se ajustan a cada territorio por lo que dejan de ser comparables. En este caso se propone el análisis de una ciudad a través de sus características funcionales y se presentan los resultados obtenidos del análisis de la localización de la función turística en el municipio de Salou (Costa Dorada, Tarragona). Para su realización se han localizado, a partir de las direcciones postales, las licencias fiscales de dos de las variables más representativas de la actividad turística, como son las empresas dedicadas al alojamiento y a la restauración. Estas operaciones han permitido obtener el escenario de distribución de la función turística de Salou, y plantear una zonificación de la misma.

Key words: Función urbana, Localización, Turismo.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

El concepto de ciudad se puede definir a partir de diversos criterios como el del volumen de población, dimensión del territorio ocupado, etc. Estas variables, a pesar de su carácter cuantitativo y ser conocidas y utilizadas extensamente a nivel mundial, se ajustan a cada territorio por lo que dejan de ser comparables. En este caso se propone el análisis de una ciudad a través de sus características funcionales.

Como dice Veltz (1999), la ciudad desarrolla un cierto número de funciones, no solo para sus habitantes sino para su entorno inmediato. De esta manera, según el alcance de la influencia de una función de una ciudad sobre el área que la rodea, se puede calibrar su importancia. Por ejemplo, una ciudad mediana realiza una función comercial de mercado central respecto a los pueblos de su alrededor, con lo cual su área de proyección es muy reducida. En cambio, el alcance o la importancia de la influencia de la función comercial de una ciudad como Nueva York es visible en todo el planeta.

En este sentido, la definición de ciudad turística emana directamente a esta misma función. Este tipo de ciudad engloba a un grupo muy heterogéneo: desde ciudades históricas como Salzburgo o Venecia, hasta los

numerosos núcleos turísticos de la costa mediterránea, con una planificación más reciente para acoger esta actividad. En Europa se entiende por ciudad turística aquella en la que su economía local depende del turismo internacional y de eventos culturales de importancia europea, López (2000).

AREA DE ESTUDIO

Salou es uno de los municipios más recientes de la Costa Dorada, puesto que hasta Octubre de 1989 pertenecía al de Vilaseca. Fue entonces cuando se firmó la Sentencia de Segregación, y se constituyó el municipio de Salou aunque el término municipal no fue delimitado hasta Julio de 1990.¹

El término municipal de Salou se encuentra ubicado en la provincia de Tarragona, a 110 km al sur de Barcelona. Este municipio litoral limita al norte con el de La Pineda y al sur con Cambrils. Tiene una superficie total de 15,1 km² y una población de 22.162 habitantes según el censo de 2006.

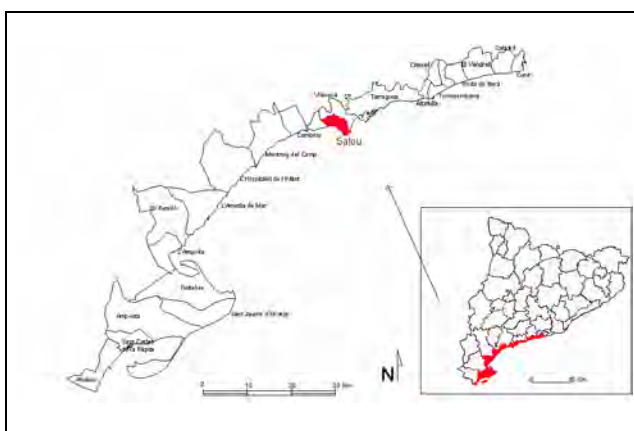


Figura 1. Situación de Salou en la Costa Dorada. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Institut Cartogràfic de Catalunya, 2007.

Salou es un municipio turístico y residencial que ha consolidado su capitalidad como centro de ocio y de servicios de la marca turística Costa Dorada por la diversidad de la oferta y por la calidad y cantidad de sus infraestructuras turísticas.

Se presenta, pues, por una parte, como destino y referente vacacional dado que concentra la mayoría de la infraestructura básica de la industria turística de las comarcas de Tarragona (81 instalaciones de alojamiento), que funciona como la principal fuerza motriz de desarrollo y aprovechamiento de la diversidad de la oferta lúdica y cultural del entorno. Pero además, acoge el principal agente dinamizador, atractivo por excelencia de la Costa Dorada: el complejo Universal Mediterránea (Port Aventura), que consolida el producto turístico de Salou y su zona de influencia como uno de los centros de ocio más importantes del litoral catalán.

En este sentido y como un indicador más de su importancia turística, es necesario apuntar que Salou ha sido la primera ciudad en recibir la marca de Destino Turístico para Familias², que otorga la Generalitat de Catalunya.

¹ “Como consecuencia de la Sentencia de Segregación en fecha de 30 de Octubre de 1989, se constituyó el municipio de Salou, que después de una larga problemática se concretó en la delimitación del término por la Comisión de la delimitación territorial según el acta con fecha 10 de Julio de 1990 POUM”.

Por otra parte, Salou se ha convertido también en destino residencial importante, gracias a la política municipal urbanística de dotación de servicios y equipamientos, de modernización de las infraestructuras y de ordenación del territorio con criterios de reequilibrio implantando y desarrollando planes de mejora (Plan de Excelencia Turística³).

La economía de Salou se ha desarrollado gracias al sector turístico. Este municipio consta de una estructura productiva básicamente terciaria y orientada a la actividad turística. Resulta de fácil comprobación observar que el sector servicios reúne la mayor parte de la población ocupada, no solo en el municipio de Salou, sino en la comarca del Tarragonés y sobre el conjunto de Cataluña.

METODOLOGÍA

Para cumplir el objetivo planteado, el análisis de la ciudad de Salou a través de su función turística, se ha realizado, en primer lugar, una recopilación de información variada; desde datos sobre la actividad turística del municipio hasta documentación cartográfica.



Figura 2. Distribución parcelaria catastral de Salou. Fuente: Elaboración propia a partir de Cartografía Catastral.

Entre la información recogida cabe destacar la siguiente:

- Las licencias fiscales de apertura de los establecimientos (facilitadas por el departamento de Promoción Económica del Ayuntamiento de Salou con fecha de 2005) y los códigos de actividad que en ellas se especifica.

²**Destino de Turismo Familiar (DTF)**, este sello de calidad creado por Turisme de Catalunya reconoce este municipio como destino especializado en recibir familias. Este sello reconoce municipios o zonas turísticas catalanas con una oferta de alojamiento y restauración adaptada a las necesidades de las familias, con una gran variedad de propuestas de ocio y entretenimiento. Para obtenerlo, hay que pasar un proceso de auditoria y cumplir una serie de requisitos estrictos, que no sólo afectan al municipio o zona turística, sino también a sus establecimientos y servicios.

³ **Los Planes de Excelencia Turística** son un intento de promover la "excelencia" de los destinos turísticos globalmente considerados, impulsando proyectos que tienen un importante efecto de demostración, de imitación y prestigio. El Plan de Excelencia Turística no es tanto una marca como una manera de actuar, un mecanismo de actuación capaz de provocar un efecto dinamizador, tanto directa como indirectamente, sobre las localidades en las que se establecen. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Es de mención obligada, explicar que existe una diferencia entre los datos registrados en las licencias fiscales del Ayuntamiento de Salou y los datos del Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT). No obstante se ha utilizado siempre como base para esta investigación las licencias fiscales proporcionadas por el Ayuntamiento de Salou.

- Cartografía urbana catastral: La información de base cartográfica has sido facilitada por la Gerencia Territorial del Catastro de Tarragona, la cual divide el espacio urbano mediante parcelas (Figura 1), y por el Institut Cartogràfic de Catalunya.

En segundo lugar, se localizan en la base cartográfica los negocios a partir de las direcciones postales que constan en las licencias fiscales. Se han cartografiado las correspondientes a la actividad turística como hoteles, pensiones, restaurantes, bares, etc. Es en este momento cuando se utilizan los Sistemas de información Geográfica (SIG) como herramienta. Los programas usados han sido Autocad Map 2004 y ArcGis. Se han escogido estos programas porque permiten integrar diversas fuentes, que van a proporcionar la información necesaria para rellenar los campos de la base de datos inicial.

La cartografía urbana catastral está expresada en formato shapefile (SHP), lo que permite acceder, una vez se ha introducido en la plataforma de trabajo ArcGis, no sólo a la base cartográfica espacial, sino también a la base de datos numérica asociada. Esta base de datos contiene la dirección postal (calle, número, etc.) de cada parcela, hecho que facilita que se puedan localizar los elementos de la función turística, tal i como se observa en la figura 3.

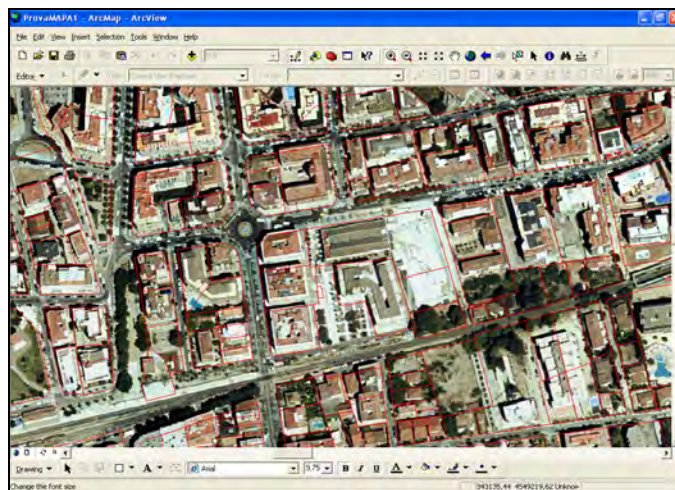


Figura 3. ArcMap. Fuente: Elaboración propia a partir del modulo ArcMap de ArcGis.

En esta plataforma, a través de su módulo ArcMap, se pueden combinar diferentes capas de información mediante la superposición. Por ejemplo la correspondiente a la cartografía catastral (escala 1:5000) y los ortofotomapas (1:5000) del Institut Cartogràfic de Catalunya, ya que estas dos fuentes están georeferenciadas. La superposición no es perfecta, debido a la diferencia de escala, pero es más que suficiente para el análisis, como podemos comprobar en la Figura 2.

En resumen, el análisis principal de la investigación se ha realizado a partir de la base de datos de las licencias fiscales, que ha sido tratada con el programa para hojas de cálculo, Excel y al mismo tiempo también se ha elaborado otra base de datos asociada a la cartografía urbana catastral, que mediante el módulo ArcMap, ha permitido producir los mapas temáticos.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

La oferta turística de la ciudad de Salou, está basada principalmente en 4 factores:

- Sol y playa:
- Destino Turístico Familiar.
- Gastronomía Mediterránea
- Port Aventura.

Estos 4 productos turísticos están fuertemente relacionados. Al hablar del turismo de “sol y playa”, se está haciendo referencia al mismo tiempo al turismo de masas, como explica Fayos–Solá en su artículo “La Nueva Política Turística” (1996).

“Las transformaciones sociales ocurridas en las décadas de los 30 y los 40 fueron las causas profundas de la aparición de nuevas formas de turismo que denominamos turismo de masas o turismo fordiano. En los años de posguerra, el sector turístico comenzó a ofrecer vacaciones estandarizadas a turistas inexpertos con motivaciones muy básicas –búsqueda de sol y playa, y un moderado exotismo, a precios bajos”.

Salou, un reconocido destino turístico especializado en este producto de “sol y playa”, ha sido el primero de Cataluña en recibir el sello de Destino Turístico Familiar. Para alcanzar esta mención Salou ha adaptado y mejorado la calidad de sus servicios, condición indispensable para lograr este éxito, tal y como apunta Yepes en su artículo “Estrategias y política turística de la comunidad valenciana: su incidencia en el litoral” (2002).

“El éxito a largo plazo de un destino turístico litoral se basa en un turismo de calidad organizado dentro de un sistema territorial planificado que integre al conjunto del sistema económico y social con su medio ambiente”.

Esta ciudad, al igual que muchas más del litoral catalán, incluye en su oferta turística la calidad de su gastronomía local, basada en una serie de especialidades culinarias donde no falta el pescado, el marisco y los arroces típicos de la zona.

Como se ha visto anteriormente, Salou es uno de los municipios que está implantando los nuevos Planes de Excelencia Turística. Estos planes, son señal de la conciencia, por parte de la administración pública, del cambio de modelo turístico.

Una de las causas de este cambio de modelo es la saturación que está sufriendo el turismo de masas o el de sol y playa, en este caso, y que se refleja, entre otras cosas, en una menor oferta de plazas hoteleras pero de mayor calidad: los hoteles de más reciente construcción son los de mayor categoría.

Finalmente, no es posible hablar de la oferta turística de Salou sin hacer una mínima referencia a Port Aventura y las repercusiones que ha tenido este parque temático para el municipio. Port Aventura abrió sus puertas en 1995 revolucionando la oferta turística y el producto de Salou, apoyado, además, por los vuelos “Charter” y la apertura a las líneas aéreas de bajo coste, las denominadas “Low Cost” en el aeropuerto de Reus, a tan solo 10 km de Salou.

La distribución de las actividades turísticas en Salou

Tal y como se ha indicado en el apartado de metodología, se ha tomado como fuente de datos las licencias fiscales de los establecimientos y, a través de los códigos de la licencia, se han escogido las dos variables principales para este estudio: el alojamiento y la actividad de restauración.

Dentro de la variable ‘alojamiento’, se incluyen todos los tipos de esta actividad que se pueden encontrar en Salou y sus diferentes categorías (Resort, Hotel, Pensión, Aparthotel, Apartamentos turísticos y campings). En cuanto al ítem de ‘restauración’ que recoge las empresas de restauración, engloba a los bares, los restaurantes y los Bar-Restaurante, que se encuentran en Salou.

El análisis cuantitativo de las variables mencionadas revela la situación real de la actividad turística de Salou. Los alojamientos representan un 17% de esta actividad, siempre hablando del número de empresas y no de los beneficios que generan, evidentemente.

En este sentido, es obvio que los negocios de restauración representen el 83% de la actividad turística de este municipio, dado la gran cantidad de bares y restaurantes que existen.

Si se analiza más detalladamente este 17% de los alojamientos (véase Figura 4) se comprobará que el 63% de éstos son hoteles, el 18% pensiones, el 8% Aparthoteles, el 6% apartamentos turísticos, el 4% campings y el 1% corresponde al único Resort que existe en el municipio.

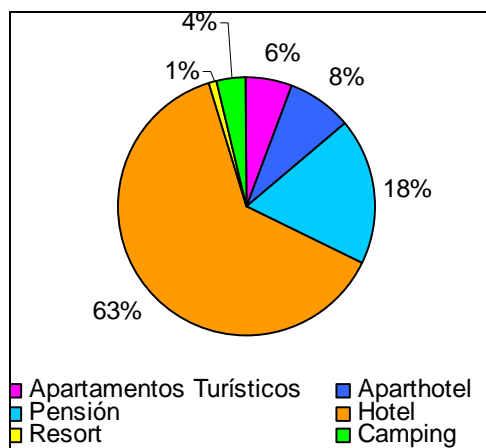


Figura 4. Alojamientos en Salou. Fuente: Elaboración propia.

Dentro del 63% que representan los hoteles, es necesario apuntar la importancia de los hoteles de tres estrellas, como se observa en la Figura 5. Esta posición privilegiada frente a otras categorías se debe a su relación calidad/precio, de vital importancia en los destinos turísticos de “sol y playa” así como en la mayoría de destinos familiares.

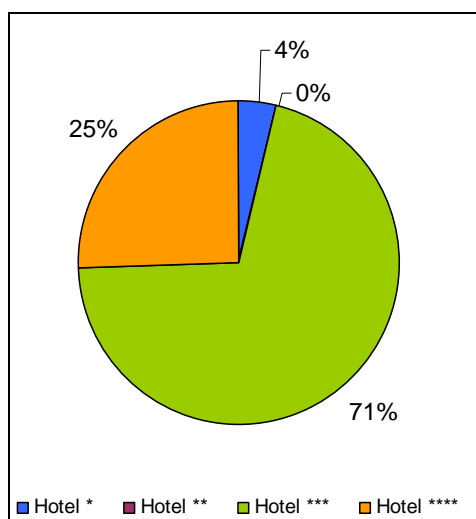


Figura 5. Hoteles por categoría Fuente: Elaboración propia.

No se debe omitir la inexistencia de hoteles de dos estrellas en todo el municipio. Esto se atribuye al hecho de que la mayor parte de los turistas que escogen Salou como destino turístico, bien son familias o ancianos que buscan comodidad a buen precio, con lo que prefieren los hoteles de tres estrellas y en ocasiones en los de

cuatro, o bien se trata de gente joven, nacional o internacional, donde prima el factor económico, y se hospedan en hoteles de una estrella o en pensiones. Véase la Figura 4, donde se refleja la importancia de las pensiones dentro de los alojamientos del municipio.

Por lo que respecta a las empresas de restauración de Salou Figura 6, el 45 % de éstas lo ocupan los Bares, el 34% los Bar-Restaurante y el 21% los Restaurantes.

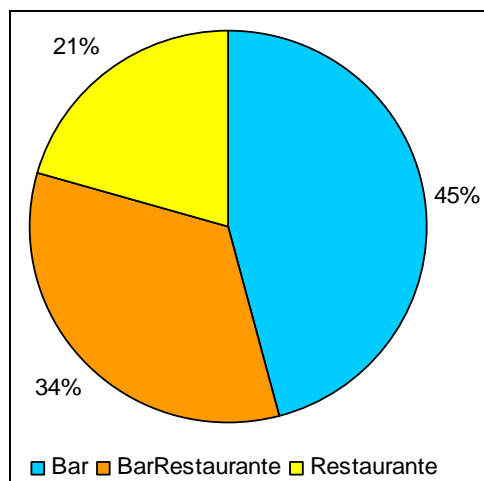


Figura 6. Empresas de restauración en Salou. Fuente: Elaboración propia.

Como en la mayoría de destinos turísticos, el tipo de empresa con mayor número de licencias fiscales corresponde a los bares, sobre todo si se tiene en cuenta que en esta categoría también están incluidas las heladerías, terrazas y cafeterías del municipio.

En cuanto a los Bar-Restaurante, es una categoría un poco compleja o difícil de definir, puesto que no se trata de un tipo de establecimiento que determine exactamente la calidad o cantidad de los servicios que ofrece, como se podría diferenciar en las otras dos variables que representan la actividad de restauración.

La zonificación espacial de la actividad turística

La zonificación de la función turística de Salou divide la actividad turística en cuatro zonas principales según la concentración de establecimientos. Esta zonificación de carácter esquemático, no incluye parámetros de área, puesto que deriva de la percepción que se extrae al observar los mapas de localización resultantes.

La Zona A, la más meridional de las cuatro, se localiza desde el extremo sur del municipio hasta las proximidades del puerto de Salou. Concentra la actividad turística en las vías próximas al litoral. De hecho, la mayor parte de los establecimientos que aquí se localizan pertenecen a la categoría de restauración. Este hecho refuerza la imagen de ciudad turística con la primera línea de costa plagada de empresas dedicadas a la restauración, como son los bares, terrazas, cafeterías, restaurantes, etc.

La Zona B corresponde al área que se extiende a lo largo de las calles Ciutat de Reus y Barcelona, dispuestas de forma perpendicular a la línea de costa, que marcan el eje de la elipse que forma la zona. Estas calles concentran el mayor número de establecimientos en la cercanía al paseo litoral.

En la Zona B, la función turística está mucho más concentrada que en la Zona C, a pesar de que ésta, es la de mayor extensión, razón por la que es evidente que englobe la mayor parte de la actividad turística, como se verá más adelante. Esta zona, es el punto donde la relación extensión/concentración de actividades turísticas, es mayor.

A pesar del reducido número de Hoteles con que cuenta, es necesario señalar la importante presencia del tipo de alojamiento 'Pensiones' ya que aquí se encuentran el 53% de los establecimientos de esta categoría. Este hecho se puede atribuir, a que la denominada Zona B, está ubicada en el casco histórico del pueblo pesquero de

Salou. En la Figura 7, se ve claramente como más del 50% de la actividad turística de Salou se concentran en la Zona C, concretamente el 60% de este tipo de actividad, que incluye el 57% de los alojamientos y el 61% de las empresas de restauración.

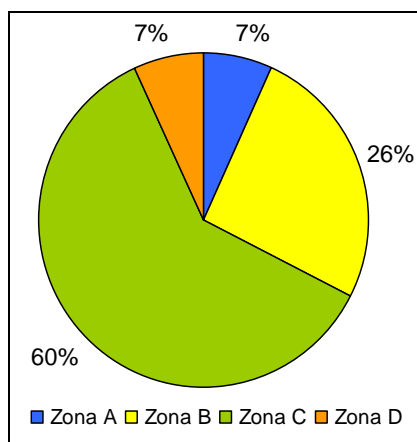


Figura 7: Actividad turística total por zonas de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Analizando detenidamente los alojamientos por tipos y zonas (Figura 8) es evidente el predominio de los hoteles en la Zona C frente a las otras áreas de la ciudad. Este hecho puede ser debido a la tipología de construcción de este tipo de alojamientos que cuentan con jardines, piscinas etc., además del edificio del hotel, lo que los hace grandes consumidores de espacio. Por norma, a mayor categoría del alojamiento, mayores servicios y superficie ocupada.

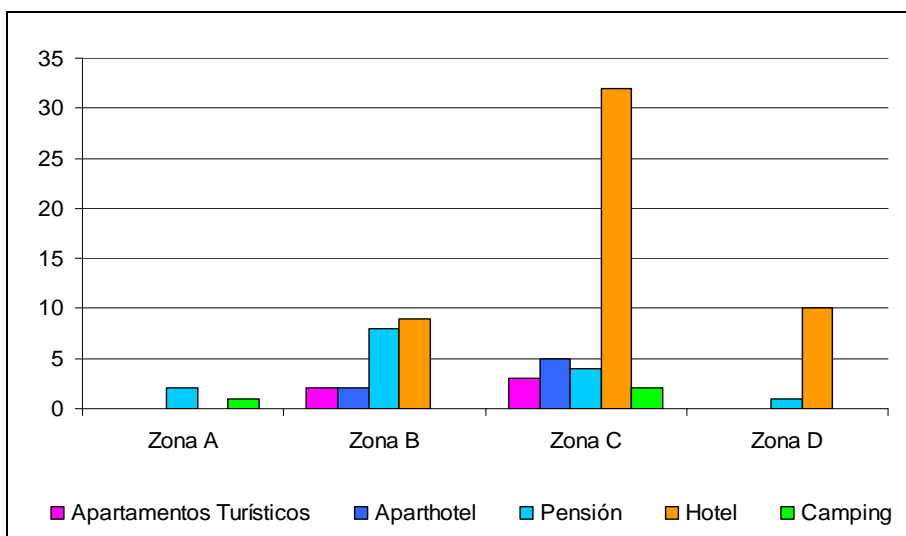


Figura 8. Alojamientos por tipos y zonas de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Esto, junto con la reciente aparición de este tipo de alojamiento en el municipio, hace que la mayor parte de los hoteles de cuatro estrellas estén situados en las zonas de más reciente urbanización.

El análisis de la localización de las empresas de restauración revela, al igual que el de los alojamientos, la superioridad en número de establecimientos de la Zona C, frente a las otras zonas del municipio. Este hecho es evidente en la Figura 9, ya sea por ser la zona más extensa, o por concentrar la mayor parte de la actividad turística del municipio. En resumen, la Zona C es el área con más establecimientos dedicados a la actividad turística de Salou.

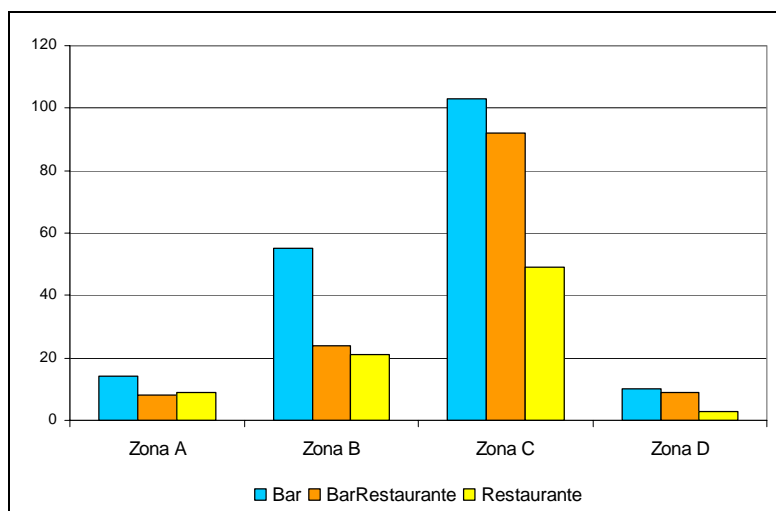


Figura 9. Empresas de restauración en Salou por zonas de estudio. Fuente: Elaboración propia.

La Zona D tal vez es la que geográficamente está más definida puesto que engloba a todos los establecimientos ubicados en el Cap de Salou. En este sentido, es importante señalar la relevancia de los elementos paisajísticos como factores de localización de los elementos de la actividad turística en esta zona. La presencia de bosques litorales y pequeñas calas parece haber sido un factor relevante a la hora de realizar la selección de la localización de los establecimientos. En este caso, parece ser que ha primado la calidad del paisaje frente a las comunicaciones.

CONCLUSIONES

Como una conclusión general, se puede indicar que la experiencia derivada de este estudio demuestra que el análisis de una ciudad a partir de la localización de sus funciones puede ser uno de los métodos más objetivos y, sobre todo, comparable entre los existentes.

Como conclusiones más específicas, es posible decir que los hoteles de cuatro estrellas se sitúan en las zonas que han sido urbanizadas más recientemente, dadas sus necesidades de espacio. Este hecho está directamente relacionado, con las normas urbanísticas que marca el Plan de Ordenación Urbanística Municipal (POUM), donde se especifica que los edificios o construcciones con extensiones de este tamaño deben ubicarse en las zonas que para ello se han delimitado.

En este sentido, un factor de localización relevante en la ubicación de un establecimiento, ya sea de alojamiento o de restauración, es el punto donde confluyen dos o más vías importantes del municipio, ya que allí se concentra la mayor parte de la función turística.

Como se observa a través del análisis de la zonificación del municipio, tanto la Zona B como la Zona C, están situadas, principalmente, en el cruce de las vías más relevantes, como serían el acceso a la ciudad, desde Reus y el de Tarragona, respectivamente.

Otro factor de localización relevante es la variable paisajística. Salou es un municipio situado en el litoral, de manera que la proximidad a las playas, o el hecho de disponer de una vista agradable, es importante. Este factor es el que determina la localización de función turística en las zonas A y D.

El municipio de Salou es un claro ejemplo del cambio de modelo turístico que están sufriendo muchas zonas del litoral mediterráneo y, en especial, la Costa Dorada. Este cambio de modelo, como ya se ha explicado, está propiciando una reducción de la oferta de plazas hoteleras en pro de una mayor calidad del producto

turístico ofrecido. Este hecho está fomentado por las implantaciones de planes de remodelación o de revitalización turística como por ejemplo los Planes de Excelencia Turística, donde se prima una calidad de los servicios frente a una basta oferta de plazas.

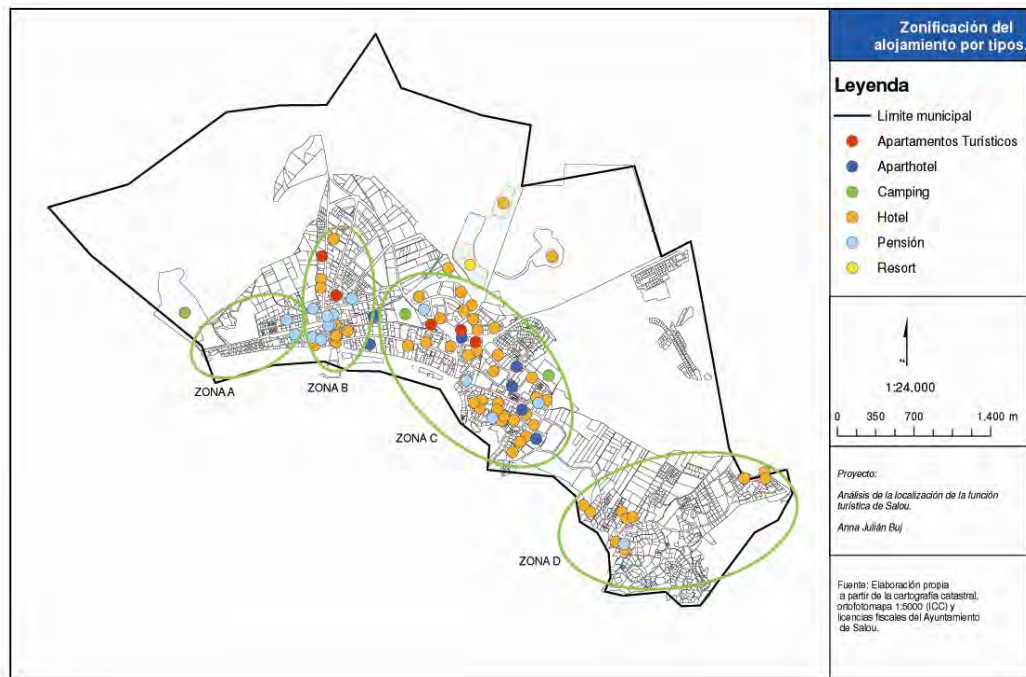


Figura 10. Zonificación del alojamiento por tipos. Fuente: Elaboración propia.

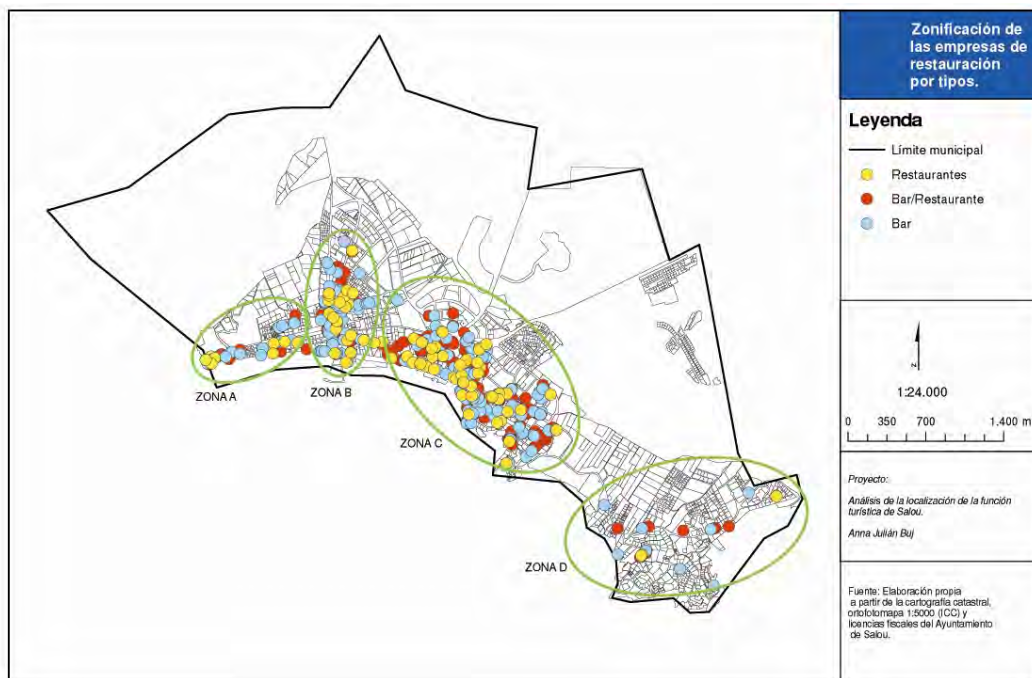


Figura 11. Zonificación de las empresas de restauración por tipos. Fuente: Elaboración propia.

BIBLIOGRAFÍA

- Antón, S. (1997): *Diferenciació i reestructuració de l'espai turístic. Processos i tendències al litoral de Tarragona*, Ed. El Mèdol, Tarragona, 301 p.
- Antón, S. (1998): La urbanización turística. De la conquista del viaje a la reestructuración de la ciudad turística. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 32: 17-43.
- Apostolopoulos, Y. y Loukissas, P.J.: *Mediterranean Tourism: Facets of Socioeconomic Development and Cultural Change*. Ed. Routledge, Londres, 320 pp.
- Benko, G. (2000): La recomposición de los espacios. *Geographicalia*, 38: 3-10.
- Capel, H. (1975): La definición de lo urbano. *Estudios geográficos*, 138-139: 265-301.
- Castells, M., (1979): *La cuestión urbana*. Ed. Siglo XXI de España Editores, Madrid, 518 pp.
- Chasco, C.: El Geomarketing y la distribución comercial. *Investigación y Marketing*, 79: 6-13.
- Fayos-Solá, E.: La nueva política turística. *Arquitectura y Turismo: Planes y Proyectos*, pp. 59-70.
- García, A., Alburquerque, F. (2003): El turismo cultural y el de sol y playa: ¿Sustitutivos o complementarios?. *Cuadernos de Turismo*, 11: 97-105.
- Latour, P. y Le Floc'h, J. (2001): *Géomarketing: Principes, méthodes et applications*. Éditions d'Organisation, 271 pp.
- Longley, P. y Mateos, P.: Un nuevo y prominente papel de los SIG y el geomarketing en la provisión de servicios públicos. *GeoFocus*, 5: 1-5.
- López Palomeque, F. (1993): Los espacios turísticos de Cataluña. *III Encuentro de Geografía Cataluña – Euskal Herria*, Barcelona, pp. 249-266.
- López Palomeque, F. (Coord): *Geografía de Europa*. Ed. Ariel, Barcelona, 608 pp.
- Monfort, V. (2000): La política turística: una aproximación. *Cuadernos de Turismo*, 6: 7-27.
- Moreno, A. (2005): *Sistemas y Análisis de la Información Geográfica*. Ed. Ra-Ma, Madrid, 895 pp.
- Organización Minedial del Turismo (OMT) (1999): *Guía para las Administraciones Locales. Desarrollo turístico sostenible*. Madrid.
- Romero, S. y Chias, L. (200): Patrones territoriales de los establecimientos comerciales de la zona Metropolitana de la Ciudad de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 42: 134-156.
- Schmidt, M. (2003): Actuales procesos de transformación urbana y su reflejo en el área central de la ciudad de Mendoza. *Boletín de Estudios Geográficos*, 98.

Toral, M.A. (2001): *El factor espacial en la convergencia de las regiones de la Unión Europea: 1980 – 1996*. (Tesis doctoral), Universidad Pontificia Comillas de Madrid.

Ustasun, A. y Gutiérrez, I. (2006): Hotel location in tourism cities. Madrid 1936 – 1998. *Annals of Tourism Research*, 33 (2): 382-402.

Vera, F.J. (1997): *Análisis Territorial del Turismo*. Ed. Ariel, Barcelona, 435 pp.

Veltz, P. (1999): *Mundialización, ciudades y territorios*. Ed. Ariel, Barcelona.

Yepes, V. (2002): Estrategias y política turística de la Comunidad Valenciana: su incidencia en el litoral. *Cuadernos de Turismo*, 9: 165-173.

Zaratiegui, A. (2002): *La ciudad turística. Los retos de una gestión innovadora*. Granada.

Recursos web:

Institut d'Estadística de Catalunya: <http://www.idescat.cat>

Institut Cartogràfic de Catalunya: <http://www.icc.cat>

Instituto Nacional de Estadística: <http://www.ine.es>

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio: <http://www.mcx.es>

OMT, Organización Mundial del Turismo: <http://www.wto.org>

Patronato de Turismo de Salou: <http://www.isalou.info>

Linares Barreal, Pablo; Rodríguez Pérez, José Ramón; López López, Luis Javier y Sanz Ablanado, Enoc (2008): Sistema de Información Geográfica para los frutales de calidad del Bierzo (FRUBIGIS). En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 290-300. ISBN: 978-84-96971-53-0.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LOS FRUTALES DE CALIDAD DEL BIERZO (FRUBIGIS)

Linares Barreal, Pablo¹; Rodríguez Pérez, José Ramón²; López López, Luis Javier² y Sanz Ablanado, Enoc²

(1) Asociación Berciana de Agricultores, Ctra. N-VI, km 398, 24549-Carracedelo (León). pablo@manzanareinetadelbierzo.es

(2) ESTIA. Universidad de León. Avenida de Astorga s/n, 24400-Ponferrada (León). jr.rodriguez@unileon.es, luisjv@gmail.com, esana@unileon.es

RESUMEN

Este trabajo pretende demostrar la utilidad las técnicas SIG para la mejora de las producciones hortofrutícolas. Su objetivo primordial es hacer una herramienta para gestionar la información sobre parcelas y propietarios acogidos a la Denominación de Origen Manzana Reineta del Bierzo y a la Marca de Garantía Pera Conferencia del Bierzo. Con esta herramienta se podrán realizar análisis territoriales para evaluar las zonas óptimas para la producción de fruta de calidad en El Bierzo y facilitar los trámites administrativos de los productos de calidad implicados. En la ponencia se expone la metodología para el desarrollo de la aplicación, los resultados obtenidos y las propuestas de mejora que se están desarrollando.

Palabras Clave: calidad de fruta, gestión parcelaria, SIG.

ABSTRACT

This research paper shows the utility of GIS techniques to improve fruit yield. The main goal is to develop a tool for managing information regarding field plots and owners belonging to the Manzana Reineta del Bierzo Designation of Origin and the Pera Conferencia del Bierzo Guarantee Trademark. This tool will allow performing territorial analyses to assess the optimal areas for producing high quality fruit in El Bierzo, and it will help in the official procedures required for these products. This paper presents a methodological approach for developing the computer application, the achieved results and the new proposals for its improvement.

Key Words: high quality fruit, field plot management, GIS.

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) cuentan con herramientas informáticas que permiten el almacenamiento, procesado y análisis de información con localización geográfica. En las últimas décadas los SIG se han convertido en una tecnológica accesible y económicamente asumible por explotaciones y agrupaciones de agricultores.

Su potencialidad estriba en el volumen y tipo de información que maneja: geográfica o georreferenciada. Los datos espaciales se caracterizan porque tienen un componente espacial (localización geográfica) y otro temático y/o temporal. Antes de realizar los análisis se deben introducir los datos y almacenarlos en el formato adecuado. Una vez creada la base de datos del SIG se pueden hacer las consultas y análisis que conduzcan a la resolución de los problemas planteados.

No son demasiadas las referencias encontradas en artículos científicos sobre la utilización específica de los SIG a la producción hortofrutícola. Hay algunos trabajos en los que se ven involucrados huertos de pera y man-

zanos como indicadores de polución del aire (Ulshöfer y Rosner, 2001) y del agua (Ray et al., 2002) y estudios de mantenimiento de canales de drenaje (Nieuwenhuis y Schokking, 1997).

En este apartado cabe destacar algunos estudios que combinan SIG y teledetección para la determinación de la incidencia de enfermedades en el manzano (Peñuelas et al., 1995), determinación de las zonas más aptas para la ubicación de los huertos de manzano (Kitchen, 2003). Otros autores han estudiado las posibilidades de la agricultura de precisión a la mejora de la eficiencia en la industria transformadora de manzana en Nueva Zelanda (Praat et al., 2001) o en otros ámbitos geográficos (Vandebroek et al., 2003).

Sobre otros tipos de frutales tampoco existen demasiadas referencias. Liang et al. (1996) y Shen y Kheoruenromne (2003) aplican los SIG como herramientas eficaces para decidir la fecha de recolección de la fruta. Son más numerosas las aplicaciones desarrolladas sobre otras plantas como el viñedo, donde los SIG se utilizan como herramientas para la selección de los lugares más adecuados y para la gestión de las labores de cultivo (Bramley y Hamilton, 2004; Terry et al., 2001), el control de enfermedades (Lagacherie et al., 2001) o estimación de peligro de erosión (Meyer y Martínez-Casasnovas, 1999; Le Bissonnais et al., 2003).

En esta comunicación se presenta el diseño conceptual y primeros resultados del FRUBIGIS: SIG para el Consejo Regulador (CR) de la Denominación de Origen Manzana Reineta del Bierzo (DOMRB) y Marca de Garantía Pera Conferencia del Bierzo (MGPCB). Se ha desarrollado una herramienta para la gestión de la información manejada por el Consejo Regulador DOMRB y MGPCB, que ayudará en la toma de decisiones como la localización de las zonas más aptas para el cultivo de la manzana y pera, planes de mejora de plantaciones, estudios de localización de sistemas de lucha antihelada, etc. Asimismo la herramienta facilitará las tareas de gestión de bases de datos de agricultores y fincas registradas que permita la expedición de informes y mapas relativos a las bases de datos.

ZONA DE ESTUDIO

La zona de producción, conservación, acondicionamiento y envasado de la manzana y pera protegidas del Bierzo, se encuentra situada al noroeste de la provincia de León. La extensión total de la Comarca del Bierzo (Figura 1) es de 2903 km², constituyendo el 18,7 % de la superficie de la provincia de León. La zona situada por debajo de 750 metros de altitud es la apta para el cultivo de la manzana y pera y representa el 44,48 % de la extensión global de las dos denominaciones geográficas.

Los municipios acogidos a la DOMRB y MGPCB son: Arganda, Balboa, Barjas, Bembibre, Benuza, Berlanga del Bierzo, Borrenes, Cabañas Raras, Cacauelos, Camponaraya, Candín, Carracedelo, Carucedo, Castropodame, Congosto, Corullón, Cubillos del Sil, Babero, Folgoso de la Ribera, Igüena, Molinaseca, Noceda, Oencia, Páramo del Sil, Peranzanes, Ponferrada, Priaranza del Bierzo, Puente de Domingo Flórez, Sancedo, Sobrado, Toreno, Torre del Bierzo, Trabadelo, Vega de Espinareda, Vega de Valcarce, Villadecanes y Villafranca del Bierzo (Benuza, no se representa en la Figura 1).

La historia del cultivo de frutales en El Bierzo de forma intensiva comienza en los años 60 coincidiendo con la creación del sistema de regadíos del Bierzo Bajo, constituido principalmente por el embalse de Bárcena y los canales Alto y Bajo del Bierzo (sus dos vías más importantes de suministro). La construcción de los regadíos bercianos supuso la transformación de terrenos baldíos, poblados por monte bajo, cereal y viñedo en el mejor de los casos, en terrenos con mayor potencial productivo.

El clima del Bierzo está determinado por la asociación de la influencia atlántica y mediterránea. La temperatura media anual es de 12°C y la media mensual oscila entre 3-5°C en enero y 18 y 23°C en julio. El período libre de heladas abarca los meses de mayo a octubre. Las heladas son frecuentes en los meses de enero y febrero y poco frecuentes en los meses de marzo, abril, noviembre y diciembre. La precipitación media anual oscila entre 700 y 1000 mm. Por tanto, El Bierzo por sus especiales condiciones climáticas (combinación de adecuada altitud, temperatura, pluviometría, humedad y radiación solar) es una zona ideal para la producción de fruta de calidad. Este hecho es conocido desde siempre y refrendado con la obtención de la medalla de oro en 1974 en la Feria de Lérida, una de las de mayor prestigio internacional en cuanto a frutales de pepita. De toda la fruta pro-

ducida en la comarca destaca la manzana y en concreto las variedades Reineta Blanca y Reineta Gris, las cuales se adaptan perfectamente a las condiciones climáticas bercianas.

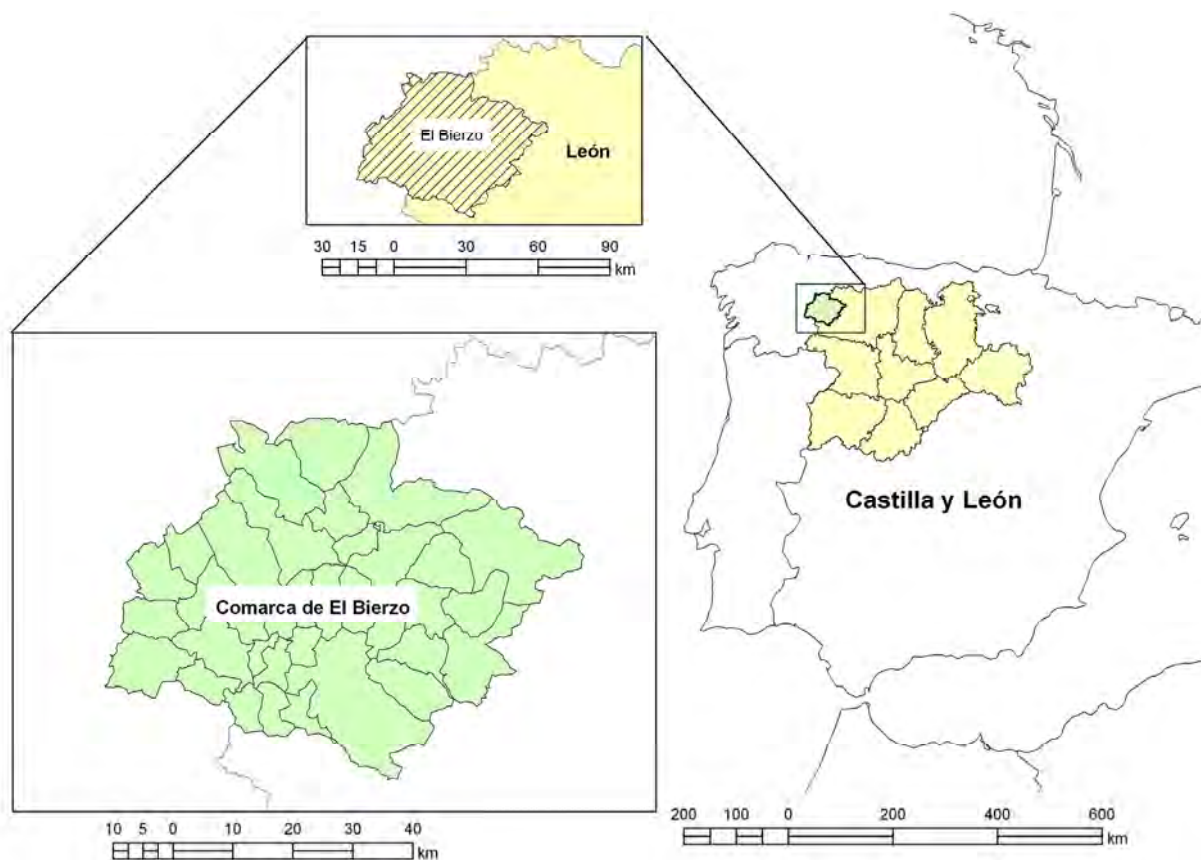


Figura 1. Localización de la Comarca del Bierzo

Tras presentar la solicitud de Denominación de Origen, junto a los estudios socioeconómicos y técnicos requeridos, en junio de 1998 se constituyó el Consejo Regulador Provisional por Orden de 18 de junio de la Conserjería de Agricultura de la Junta de Castilla y León cuyo objetivo principal era elaborar la propuesta de reglamento y manual de calidad. La DO queda legalmente constituida por la Orden de 2 de diciembre de 1999 de la consejería de Agricultura y Ganadería por la que se aprueba el Reglamento de la Denominación de Origen Manzana reineta del Bierzo y de su Consejo Regulador (BOCyL de 16 de diciembre de 1999), siendo ratificada por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación por la Orden de 15 de diciembre de 2000 (BOE del 1 de enero de 2001). La solicitud de registro se presentó el 16 de marzo, se aprobó definitivamente el 28 de diciembre y publicó en el DOCE del 29 de diciembre de 2001.

Por otro lado la Ley 17/2001, de 7 de diciembre, de Marcas (BOE núm. 294, de 8 de diciembre de 2001), establece el nombre Marca de Garantía "Pera Conferencia del Bierzo" y regula que las peras que cumplan en su producción, elaboración y comercialización, los requisitos exigidos en su Reglamento. La MGPCB certifica la calidad y origen de las peras producidas, autorizadas y controladas por la Asociación Berciana de Agricultores (ABA), que es la titular de la marca.

METODOLOGÍA

En este apartado se describe cual es el problema planteado y la estructura general de la aplicación informática desarrollada.

Planteamiento del problema

Las posibilidades de desarrollo de los productos de calidad en El Bierzo son inmejorables puesto que cuenta con buenos ejes de comunicación (autovía A6) y la alta calidad en la materia prima. Durante los últimos años se ha venido produciendo la consolidación de la industria agroalimentaria en Castilla y León, llegando a suponer un valor económico del 11% del conjunto nacional y manteniendo una de las posiciones más destacadas respecto a otras Comunidades Autónomas (Gordo, 2003). Las inversiones públicas y privadas en este campo se han incrementado cada año, favorecidas por la positiva evolución de las ventas de todos los productos agroalimentarios de calidad, con un incremento medio anual estimado en el 3,3%, en términos reales durante el período 1996-2002 (Gordo, 2003) y el incremento de los precios de pera y manzana en torno al 15% durante el año 2003 y el incremento sostenido de la demanda (Ministerio de Economía, 2004).

Cuando se comenzó a desarrollar el proyecto en la DOMRB había unas 240 ha inscritas, con un total de 190 productores, mientras que la MGPCB tenía inscritas unas 200 ha y 180 socios, agrupados todos ellos en cuatro agrupaciones de comercialización (CEFRUCA S.A.T., CEFRUBIERZO S.A.T., Comercial Berciana de Fruta y FRUTIBER S. COOP.).

Durante cada campaña de cultivo y comercialización los productores y empresarios solicitan al CR-DOMRB y ABA certificaciones de registro en la DOMRB y MGPCB, solicitud de altas y bajas en los registros de parcelas, consultas sobre labores y tratamientos, estimaciones en la producción, etc. Asimismo la Consejería de Agricultura y las centrales hortofrutícolas, necesitan conocer las producciones globales e individuales de cada explotación.

Atender a estas demandas supone un enorme esfuerzo por parte de los técnicos que muchas veces se encuentran con falta de medios e información disponible de forma inmediata para atender todas estas demandas. Además los técnicos manejan información de diversas fuentes (estadísticas de las cooperativas, datos catastrales, recomendaciones agronómicas sobre el cultivo, etc.) que ya existen pero no están a disposición inmediata por su dispersión en organismos de las administraciones públicas. Todo esto conlleva que algunas demandas de productores y cooperativas no puedan ser atendidas o no lo sean con la diligencia necesaria.

Desarrollo de la herramienta informática FRUBIGIS

Para atender a las necesidades planteadas por los técnicos del CR-DOMRB y de la ABA, se propone implementar una herramienta informática desarrollada con MapObjects (ESRI) que permita la gestión de las bases de datos de manzana y pera. La aplicación resultante es FRUBIGIS.

El diseño de la herramienta se hizo de acuerdo con los requerimientos del cliente. En la Figura 2 se muestra en esquema con las tablas y relaciones en la base de datos.

Las tablas fundamentales son las de *socios* y *parcelas*. En la tabla *socios* se recopilan todos los datos de filiación de los asociados. La tabla *parcelas* sirve para recopilar toda la información de las parcelas con manzana y pera acogidas a ambas marcas de calidad. En esta tabla se deben introducir los registros para cada campo y se deben dar de alta o baja cuando así se requiera.

En la tabla *producciones* se recogen los datos de fruta producida para cada campaña, diferenciando: reineta blanca, reineta gris y pera conferencia. En *inspecciones* se registran los datos recopilados en las inspecciones a parcelas para control de calidad. Se hacen análisis de suelos periódicamente y estos datos se guardan en la tabla *analisis*. El resto de tablas (*municipios*, *riegos*, *formaciones*, *TSiNo*, *centrales*, *antiheladas*, *variedades* y *texturas*) sirve para almacenar datos específicos de cada concepto (de tipo *Sí/No* o *elección* entre un conjunto de posibilidades) que facilitarán la introducción de datos y simplificarán la estructura de la base de datos.

El interface del FRUBIGIS (Figura 3) es muy sencillo con objeto que lo pueda manejar cualquier usuario sin necesidad de ser un experto en aplicaciones SIG. En la pantalla de inicio puede diferenciarse iconos y menús desplegable, el área de visualización de los datos gráficos, mapa guía y zona de visualización de elementos seleccionados (datos alfanuméricos).

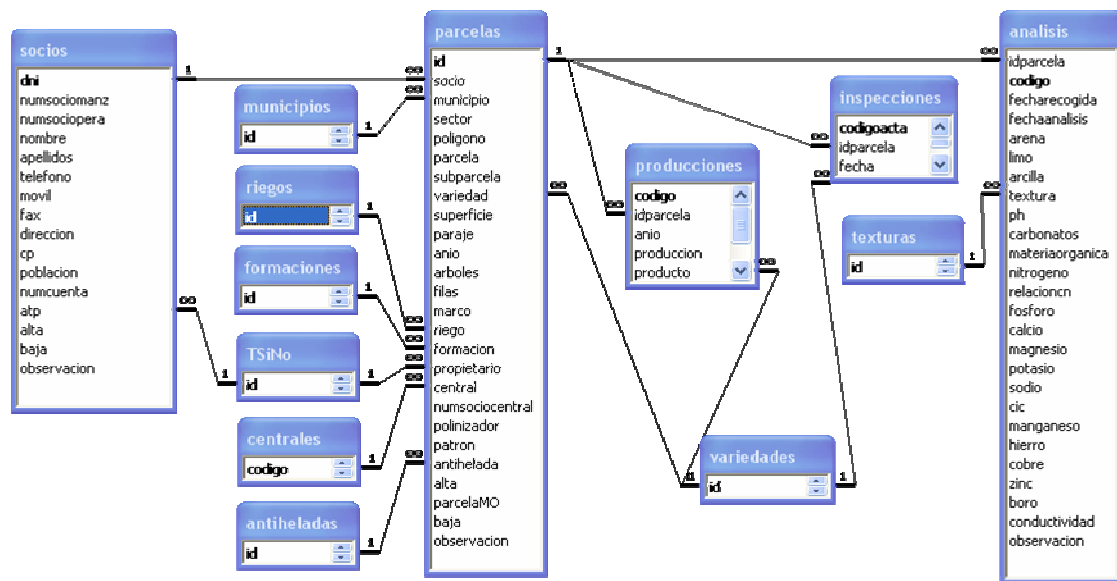


Figura 2. Estructura de la base de datos

Iconos y Menús desplegables

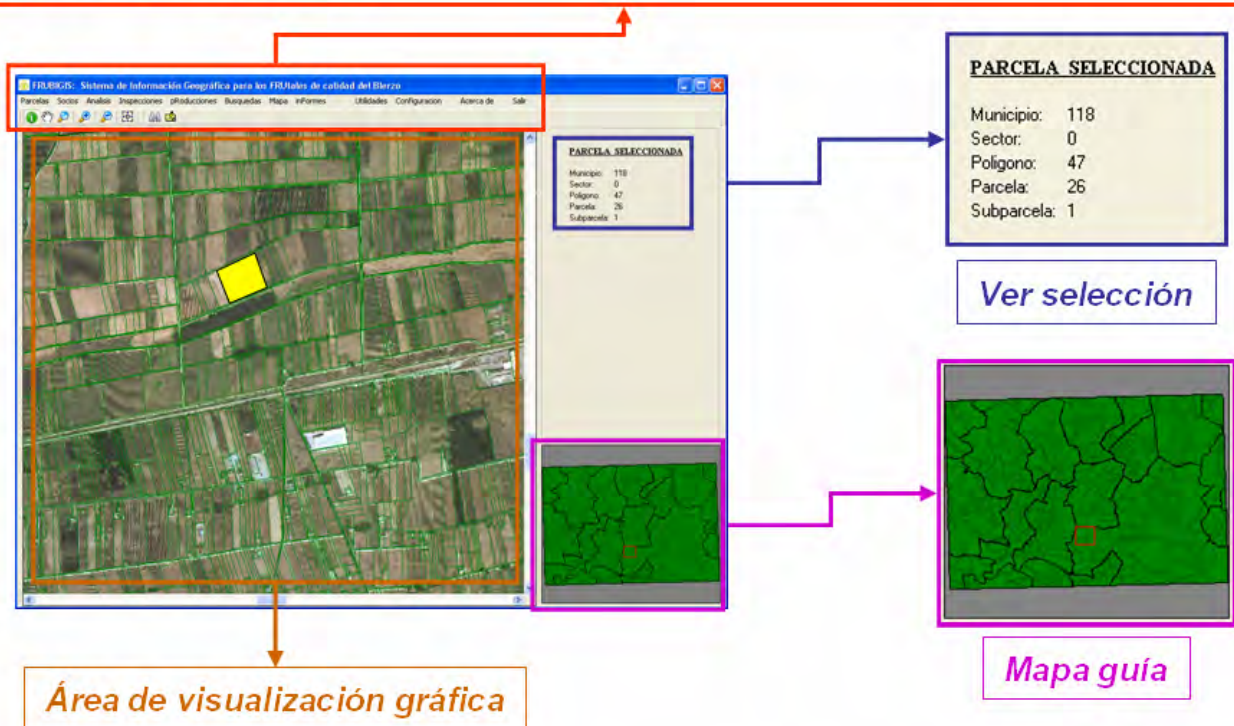
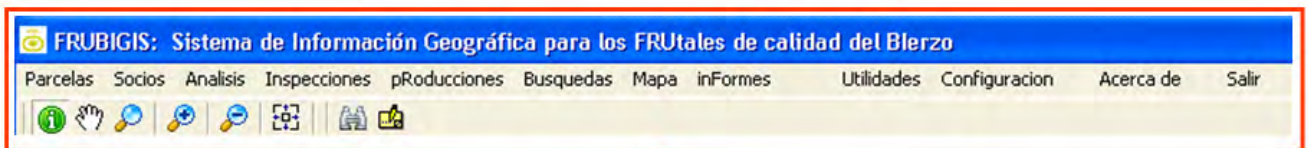


Figura 3. Interface de la aplicación FRUBIGIS

La barra de iconos tiene las opciones de cualquier software de visualización de información geográfica: consulta de datos temáticos, zoom, buscar, etc. El mapa guía muestra con un rectángulo rojo la zona visualizada: sirve al operario para ubicarse dentro del mapa de municipios y polígonos de la zona de producción frutícola berciana. En el área de visualización de los datos gráficos se carga (por defecto) un plano parcelario y ortofotografías en color de la zona seleccionada. Si hay algún elemento seleccionado en la base de datos o en el parcelario, se ve la información temática en la zona de visualización de elementos seleccionados (esta puede verse de modificada en función de la opción de búsqueda activada). En la barra de menús desplegables, las cinco primeras opciones sirven fundamentalmente para introducir datos en las tablas *parcelas*, *socios*, *análisis*, *inspecciones* y *producciones*.

El menú *Búsquedas* permite hacer consultas en la base de datos y visualizar los resultados en forma de mapas o tablas. Las búsquedas se pueden ejecutar por *socios*, *parcelas*, *producciones* e *inspecciones*, aunque también posible hacer búsquedas por datos del análisis de suelos y otros. En la Figura 4 se muestra un gráfico en el que se explican algunas posibilidades de la opción búsqueda. El ejemplo se refiere a una búsqueda de “las parcelas de un propietario identificado por su DNI”: el socio tiene 8 parcelas de pera con las características mostradas en el “resultado de búsqueda”; con la selección se puede hacer informe escrito que incluya la información de la base de datos (también se puede añadir la cartografía de cada parcela); si se mantiene la selección al volver a la ventana principal del programa se pueden ver las parcelas seleccionadas.

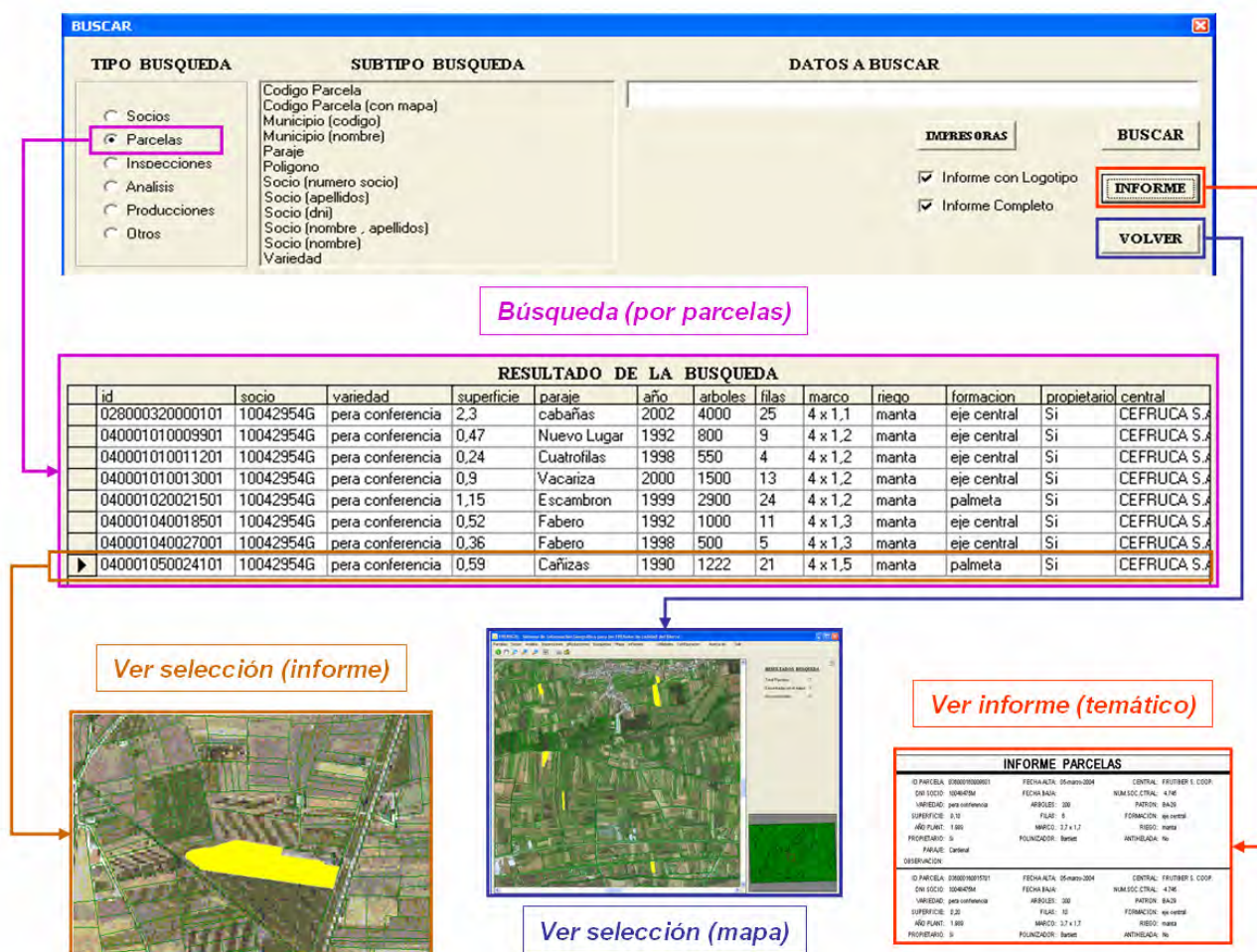


Figura 4. Opciones de búsqueda de la aplicación FRUBIGIS

En la Figura 5 se muestran otras posibilidades de la aplicación. Las opciones de *Mapa* permiten ver la ubicación de las parcelas previamente seleccionadas, copiar y guardar imágenes, etc., y representar todas las parce-

las de la base de datos, separadas por variedad de manzana y pera conferencia: esta opción facilitará la ceración de los informes anuales y organizar la campaña de recogida de la fruta. El menú *inFormes* se ha desarrollado específicamente para atender las demandas de las administraciones públicas y de las centrales que recogen la fruta; se pueden generar informes centrados sobre todo en la producción (por año, socio, central, etc.). En *utilidades* se pueden hacer copias de seguridad, editar los identificadores de socios y parcelas, ver la calculadora, eliminar datos, etc.; la opción *Parcelas Perdidas* sirve para chequear periódicamente si las parcelas incluidas en las bases de datos están representadas en los mapas.

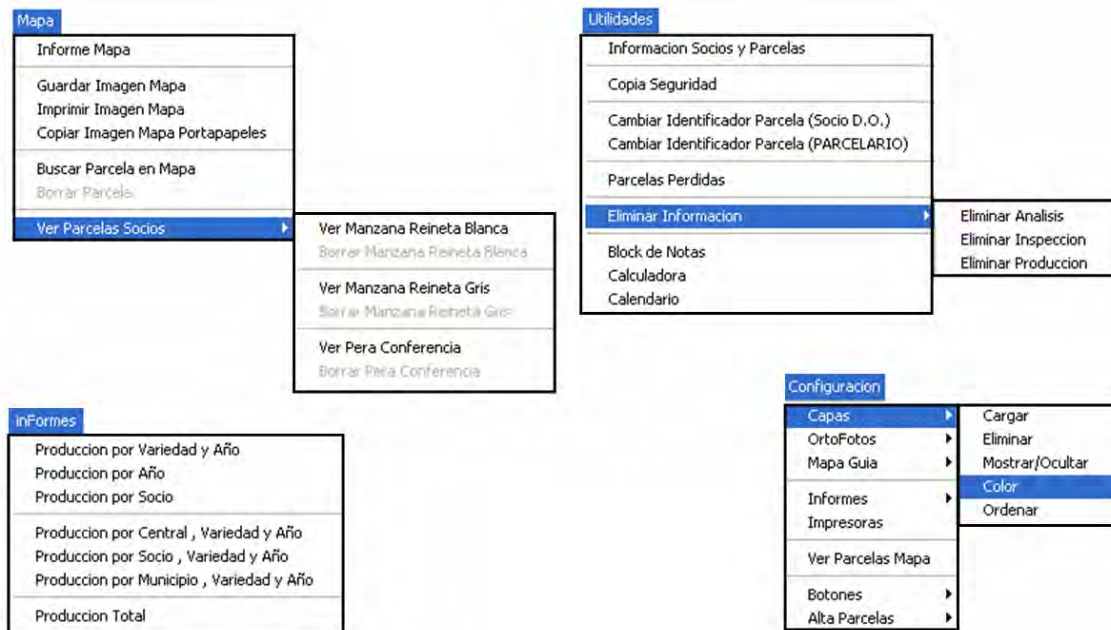


Figura 5. Opciones de los menús *Mapas*, *inFormes*, *Utilidades* y *Configuración* de la aplicación FRUBIGIS

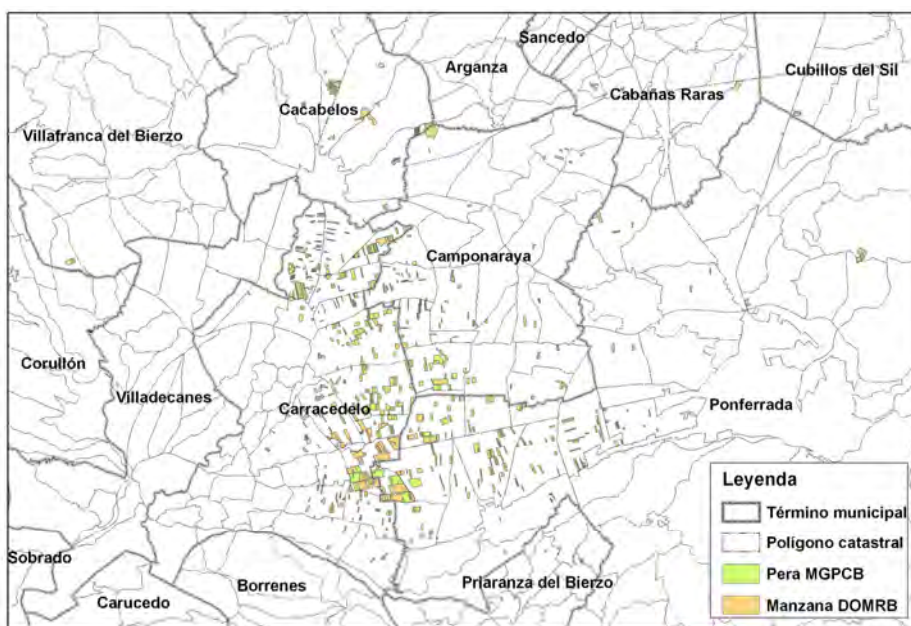


Figura 6. Localización de las parcelas de manzana DOMRB y pera MGPCB dentro de la aplicación FRUBIGIS

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema FRUBIGIS ya está operativo. Actualmente la base de datos y los parcelarios están en fase de revisión y verificación: por tanto los resultados indicados son válidos con la información verificada a fecha de 1 de junio de 2008. Esta es una cuestión importante puesto que en cada campaña se dan de alta/baja socios y parcelas, se introduce nuevos datos de producciones, análisis e inspecciones, etc.

En la Figura 6 se muestra gráficamente la ubicación de las parcelas acogidas a DOMRB y MGPCB. Partiendo de esta información básica se ha realizado un análisis de la estructura de las explotaciones frutícolas y de las producciones comercializadas y una reflexión sobre los beneficios que aporta el sistema.

Estructura de las explotaciones

La información introducida en el sistema ha permitido hacer un análisis de la estructura de las explotaciones de manzana y pera de calidad en el Bierzo. En la Tabla 1 se resumen, por término municipal, los datos más relevantes de las parcelas acogidas a DOMRB o MGPCB.

Para la manzana DOMRB hay un total de 474 parcelas, con una superficie media de 0,584 ha. La superficie total es de 216,692 ha, de las cuales 115,646 corresponden al municipio de Carracedelo. Las parcelas más grandes están en Ponferrada, Carracedelo y Camponaraya, pero ninguna de ellas supera las 6 ha. Todas estas cifras ponen de manifiesto los problemas estructurales de las parcelas de manzana: son muy pequeñas y están diseminadas por las zonas regables del Bierzo; esto dificulta la posibilidad de ofertar grandes volúmenes de manzana con una tipología homogénea. Sin embargo, gracias a las buenas condiciones climáticas, las prácticas culturales y el excelente asesoramiento de los técnicos, en el Bierzo se está produciendo manzana reineta de muy buena calidad.

Tabla 1. Caracterización de las parcelas manzana DOMRB y pera MGPCB, por término municipal

Municipio	Manzana DOMRB, (superficies en ha)				Pera MGPCB (superficies en ha)			
	Nº parcelas	Parcela mayor	Parcela media	Superficie total	Nº parcelas	Parcela mayor	Parcela media	Superficie total
Cabañas Raras	2	0,195	0,109	0,218	11	0,526	0,192	1,912
Cacabelos	8	3,249	0,867	5,841	65	1,237	0,255	14,957
Camponaraya	49	5,468	0,516	21,280	103	2,823	0,316	29,411
Carracedelo	262	5,735	0,524	115,646	304	4,695	0,403	110,718
Cubillos del Sil					13	0,764	0,148	1,741
Ponferrada	153	5,883	0,572	73,707	130	5,571	0,534	62,699
Priaranza del Bierzo					11	0,274	0,112	1,115
Sancedo					12	0,245	0,076	0,828
Villafranca del Bierzo					7	1,654	0,293	1,853
Todos los municipios	474	5,883	0,584	216,692	656	4,695	0,392	225,234

Algo similar ocurre con la pera MGPCB: ocupa un total de 225,234 ha repartidas en 656 parcelas, de las que el 50% están en Carracedelo. La parcela media por término municipal es muy pequeña (0,392 ha); la parcela más grande está en Ponferrada y ocupa 5,571 ha. El mayor potencial de la comarca está en la calidad de la pera producida: las condiciones medioambientales hacen que en la piel de los frutos se cree una capa suberosa (suberosis o russeting) que es muy apreciada por los consumidores de este tipo de fruta de pepita.

Analizando la superficie y número de parcelas por socio (Tabla 2) queda otra vez patente que el mayor potencial de la comarca no es la oferta de grandes volúmenes de fruta. Los 139 socios de la DOMRB tienen un promedio de 3-4 parcelas con una superficie media de 0,616 ha. Cada explotación tiene una extensión media total de 1,851 ha, cuya parcela más grande ocupa 1,169 ha de media. Este tamaño de explotación indica que la gran mayoría de socios deben ser agricultores a tiempo parcial.

A la MGPCB se acogen 135 asociados, con una superficie media total de 1,846 ha. La parcela media ocupa 0,500 ha y la media del huerto más grande es 0,984 ha. El número medio de parcelas es de 4-5, aunque el rango varía desde 1 hasta 29 parcelas por socio. Con esta estructura de la propiedad los socios deben seguir apostando por la producción de calidad.

Tabla 2. Caracterización de las parcelas manzana DOMRB y pera MGPCB, por socio

	Manzana (DOMRB)	Pera (MGPCB)
Número total de socios	139	135
Número de parcelas más grande	13	29
Número de parcelas más pequeño	1	1
Número medio de parcelas	3-4	4-5
Superficie de la parcela media (ha)	0,616	0,500
Superficie media de parcela más grande (ha)	1,169	0,984
Superficie media total (ha)	1,851	1,846

Comercialización

El volumen de comercialización es variable (Tabla 3) puesto que todas las producciones agrarias están muy condicionadas por las condiciones climatológicas. En el 2004 la venta de manzana fue baja (162000 kg) por las condiciones climatológicas y además fue una de las primera campañas de comercialización de manzana DOMRB. Durante el 2005 el volumen subió a 856000 kg, mientras que en las dos últimas campañas la producción media comercializada de manzana fue de 1715000 kg. La comercialización de pera MGPCB llegó hasta los 2713000 kg en 2007, mientras que en los tres años anteriores la media fue de 1279933kg. Los rendimientos por hectárea también son muy variables: durante la campaña 2007 los rendimientos fueron de 26086 kg/ha para manzana y 24460 kg/ha para pera.

Tabla 3. Datos de comercialización de manzana DOMRB y pera MGPCB (período 2004-2007)

Año	Manzana DOMRB (kg)	Pera MGPCB (kg)
2004	162000	1442750
2005	856000	811050
2006	1458000	1586000
2007	1972000	2713000

Beneficios del sistema

El desarrollo de la aplicación se enmarca dentro de un plan de desarrollo del CR-DOMRB y de la ABA, y reportará los siguientes beneficios: (i) potenciar la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico dentro del sector agrario y alimentario y fomento de la difusión tecnológica, (ii) facilitar el seguimiento de la materia prima desde el origen hasta la comercialización en destino, es decir, la trazabilidad y el control continuado de la manzana y de la pera, mejorando así la seguridad de las materias primas alimentarias, (iii) contribuir a la promoción de los productos DOMRB y MGPCB a escala global, puesto que es una aplicación pionera a escala nacional, (iv) facilitar el seguimiento y control de las labores de cultivo del manzano y del peral (mantenimiento del suelo, tratamientos fitosanitarios, fertilización, riego, etc.), contribuyendo a mejorar la eficiencia en la aplicación de inputs, con los consiguientes beneficios para el medio ambiente.

CONCLUSIONES

Se ha conseguido implementar una herramienta informática que mejorará la eficiencia del tratamiento de toda la información gestionada por el Consejo Regulador de la Denominación de Origen Manzana Reineta del

Bierzo y la Asociación Berciana de Agricultores. Además se han analizado la estructura de las explotaciones y su potencial productivo, que debe dirigirse hacia la producción de fruta de calidad.

El proyecto está aportando beneficios a todos los sectores involucrados en la DOMRB y MGPCB: (i) al sector productivo le permitirá optimizar la toma de decisiones en cuanto al plan de labores y tratamientos, así como la realización de informes técnicos o recomendaciones sobre planes de explotación individualizados o resolución de problemas concretos (plagas y enfermedades, deficiencias nutricionales, etc.), (ii) al sector de comercialización le permitirá el control de la producción en origen y estimar las producciones (cuantitativa y cualitativamente) con un alto grado de fiabilidad, (iii) al sector de industrialización le posibilitará planificar su producción aportando información sobre cantidad y disponibilidad de la materia prima, así como sobre la calidad y grado de adecuación para los distintos productos finales.

En la actualidad se está trabajando en la zonificación de la Comarca del Bierzo para localizar las zonas de mayor potencial productivo así como aquellas que pueden presentar algún tipo de limitación. Como línea de desarrollo futuro se comenzará a trabajar en el desarrollo de una aplicación complementaria que permita acceder a los socios a la información de las bases de datos a través de Internet.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bramley, R.G.V. y Hamilton, R.P. (2004): Understanding variability in winegrape production systems 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10 (1): 32-45.
- Gordo, P. (2003): *Informe sobre la situación económica de la Industria Alimentaria en Castilla y León*. Servicio de publicaciones de la Junta de Castilla y León, Valladolid, 121 pp.
- Kitchen, N.R. (2003): Management Zones Help in Precision Agriculture. *Agricultural Research Magazine*, 51 (8): 16-18.
- Lagacherie, P, Collin-Bellier, C. y Goma-Fortin, N. (2001): Analysing rate and spatial variability of vinestock mortality in a Languedocian vineyard from high resolution aerial photographs. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 35 (3): 141-148.
- Le Bissonais, Y., Montier, C., Jamagne, M., Daroussin, J. y King, D. (2003): Mapping erosion risk for cultivated soil in France. *CATENA*, 46 (2-3): 207-220.
- Liang T., Meng Q.L. y Ji, F. (1996): Prediction of macadamia nut spoilage for harvest decision making. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63 (3): 237-242.
- Meyer, A. y Martínez-Casasnovas, J.A. (1999): Prediction of existing gully erosion in vineyard parcels of the NE Spain: a logistic modelling approach. *Soil & Tillage Research*, 50 (3-4): 319-331.
- Ministerio de Economía (2004): *Investigación de la cadena de distribución de determinadas frutas y hortalizas*. Servicio de publicaciones del Ministerio de Economía, Madrid, 109 pp.
- Nieuwenhuis, H.S. y Schokking, F. (1997): Land subsidence in drained peat areas of the Province of Friesland, The Netherlands. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 30: 37-48.
- Praat, J.P., Bollen, F., Dewar, D. y Yule, I. (2001): Product tracking for profit. En: Currie, L.D. and Loganathan, P (Ed.), *Precision tools for improving land management, Occasional report*. Precision tools for improving

land management. Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North (Australia).

Peñuelas, J., Filella I., Lloret P., Muñoz F. y Vilajeliu M. (1995): Reflectance assessment of mite effects on apple trees. *International Journal of Remote Sensing*, 16: 2727-2733.

Ray, N., Lehmann, A. y Joly, P. (2002): Modelling spatial distribution of amphibian populations: a GIS approach based on habitat matrix permeability. *Biodiversity and Conservation*, 11 (12): 2143-2165.

Shen R.P. y Kheoruenromne I. (2003): Monitoring land use dynamics in Chanthaburi Province of Thailand using digital remotely sensed images. *Pedosphere* 13 (2): 157-164.

Ulshöfer, J. y Rosner, H.J. (2001): GIS-based analysis of lichen mappings and air pollution in the area of Reutlingen (Baden-Wuerttemberg, Germany). *Meteorologische Zeitschrift*, 10 (4): 261-265.

Vandebroek, K., Verheyden, C., Vanden Auweele, W., Vogels, N. y Vandendriessche, H. (2003): A Decision Support System for Fruit Growers (Apple and Pear): ISO-group Concept to Evaluate Parcels on the basis of Quality and Quantity (Yield). En: Okyay, K. (Ed.): *International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment*. Ege University, Izmir (Turquía), pp.: 329-331.

Marcer, Arnald; Escobar, Agustí y García, Víctor (2008): Territorialización de las actuaciones de la administración ambiental. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 301-311. ISBN: 978-84-96971-53-0.

TERRITORIALIZACIÓN DE LAS ACTUACIONES DE LA ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL

Marcer, Arnald; Escobar, Agustí y García, Víctor

CREAF – Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales, Universidad Autónoma de Barcelona, Edificio C, 08193 Bellaterra. arnald.marcer@uab.cat, a.escobar@creaf.uab.cat, v.garcia@creaf.uab.cat

RESUMEN

La administración pública ambiental realiza importantes actuaciones en el territorio: planes, estudios, obras, etc. Disponer de herramientas para su gestión y seguimiento y la visualización territorial de fondos invertidos es de suma importancia para una correcta y eficiente distribución de recursos. Debido a la descentralización de la administración ambiental, con sedes en diferentes puntos del territorio (e.g. parques naturales), es imprescindible que dichas herramientas puedan operar remotamente a través de Internet.

En éste trabajo se presenta una herramienta para la gestión de las actuaciones ambientales sobre el territorio. La herramienta permite la gestión de datos alfanuméricos, documentales y cartográficos a través de Internet. Se trata de una aplicación de escritorio que mantiene una caché o copia local de los datos, sincronizada con la base de datos central. El resultado es una aplicación ágil incluso en entornos con comunicaciones pobres. La aplicación permite la edición combinada de datos alfanuméricos, documentales y cartográficos y el uso de cartografía servida por WMS. Ésta herramienta ha sido implementada en el Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalidad de Cataluña.

Palabras Clave: Sistema de Información Ambiental, georeferenciación, actuaciones administrativas, OGC, WMS

ABSTRACT

Public environmental administrations develop their activities over the territory: planning, studies, public works, etc. In order to adequately and efficiently distribute financial resources, these organizations need tools for managing and monitoring all associated information to their activities. Due to decentralization of environmental public offices (e.g. nature park headquarters), it is mandatory that these tools be operable over the Internet.

This paper presents a software tool for the management of all environmental activities carried out over the territory by the environmental public administration in Catalonia. It is developed as a desktop application able to handle alphanumeric, documental and cartographic information at the same time. In order to solve the lack of responsiveness of web applications in contexts of low network infrastructures, such as those of many park headquarters in rural areas, the application works with a local data caché which keeps synchronized with the remote database. The tool makes extensive use of OGC standards compliant cartography served by remote servers. This tool has been implemented at the Department of the Environment and Housing of the Catalan government.

Key Words: Environmental information systems, georeferencing, public environmental administrations, OGC, WMS

ANTECEDENTES

La administración ambiental lleva a cabo sus políticas de conservación y gestión del medio ambiente mediante la elaboración, ejecución y seguimiento de programas de actuaciones destinados a múltiples propósitos: conservación y restauración del patrimonio natural y cultural, estudios, promoción de la mejora rural, ordenación del uso público, etc.

La planificación del listado de actuaciones o programa de actuación se realiza el año anterior al de ejecución. Dicha planificación conlleva definir en detalle las actuaciones y asignar un presupuesto previsto de ejecución. Una vez elaborado el programa de actuación por un determinado organismo de la administración éste debe ser validado por instancias jerárquicamente superiores. Por ejemplo, en el contexto de los parques naturales administrados por la Generalidad de Cataluña, los programas de actuación que éstos elaboran son posteriormente validados y aprobados por el Servicio de Parques y por los órganos rectores. A su vez, el Servicio de Parques debe negociar los presupuestos con instancias superiores.

Los programas de actuación representan una importante cantidad de datos alfanuméricos (definición, objetivos, tipo, técnico responsable, área responsable, presupuesto, partidas presupuestarias, etc), documentos (pliegos de prescripciones técnicas, informes de evaluación, etc.), imágenes (fotos anteriores y posteriores a la actuación, etc.) e información cartográfica de georeferenciación.

Cuando distintos programas de actuación necesitan consultarse y analizarse conjuntamente para, por ejemplo, distribuir eficientemente los fondos disponibles entre los diferentes parques del Servicio de parques, se hace imprescindible el acuerdo entre los diferentes productores de programas de actuación (los parques en nuestro ejemplo) de un formato y codificación de la información comunes. Ésto permite la comparación entre distintas actuaciones y programas de actuación, el análisis comparado de presupuestos asignados a diferentes tipos de actuación y/o partidas presupuestarias y, por lo tanto, una correcta evaluación y comparación de presupuestos para una mejor y más eficaz distribución de fondos públicos.

Anteriormente al desarrollo del sistema de información aquí descrito no existía esta homogeneidad entre programas de actuación ni herramientas informáticas para su gestión. La consecuencia de todo ello era una importante dificultad añadida para los órganos y personas que debían tomar las decisiones.

Para resolver esta necesidad de organización y gestión de información se ha desarrollado un módulo de actuaciones dentro del marco del proyecto SIPAN, Sistema de Información sobre el Patrimonio Natural de Cataluña, promovido por el Servicio de Planificación y Gestión del Entorno Natural y el Servicio de Parques de la Dirección General del Medio Natural del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalidad de Cataluña. El objetivo del proyecto SIPAN es el de integrar y organizar en una base homogénea los múltiples productos digitales ambientales referentes al patrimonio natural (espacios naturales protegidos, hábitats, actuaciones, informes, etc.) y diseñar e implementar un sistema de información que ofrezca un entorno homogéneo y ágil para la gestión y explotación de esta información.

TECNOLOGÍA

El módulo de actuaciones está integrado en el proyecto SIPAN. Utiliza la tecnología Java, plataforma y lenguaje de programación, para el desarrollo de las aplicaciones cliente y de la aplicación servidora. La aplicación servidora es una *servlet* desplegada en un servidor *Apache Tomcat*. La base de datos es Oracle 9i. Las aplicaciones usan extensamente servidores de cartografía basados en estándares OGC (ej. MiraMon).

Todo el desarrollo del SIPAN está basado en productos de código abierto: Java, Apache Tomcat, Jasper Reports, JFreechart, Java Topology Suite (JTS) y JScience. El único producto propietario es el controlador *thin client* de Oracle y la propia base de datos Oracle (base de datos corporativa del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalidad de Cataluña). De todas formas, las aplicaciones del SIPAN están diseñadas para poder funcionar con pequeños ajustes con otras bases de datos como por ejemplo MySQL o PostgreSQL.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE ACTUACIONES

Usuarios y permisos

Todas las aplicaciones o módulos del SIPAN requieren autenticación de usuario por nombre y contraseña (Figura 1). En el caso del módulo de actuaciones, una vez identificado el usuario el sistema le ofrece acceso a los programas de actuación para las organizaciones para las cuales dispone de permiso (Figura 2). Para cada

organización se pueden definir permisos diferentes de lectura y edición o de sólo lectura. Los permisos de edición se pueden ajustar aún más y asignar permisos de inserción, edición y borrado independientemente.

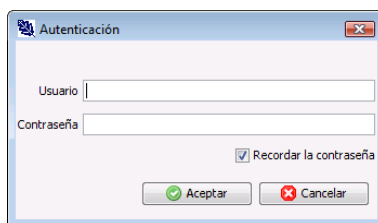


Figura 1. Panel de autenticación de usuario

Una vez rellenados los campos 'Usuario' y 'Contraseña' se produce una validación remota en la base de datos y si ésta es positiva el usuario entra en la aplicación.

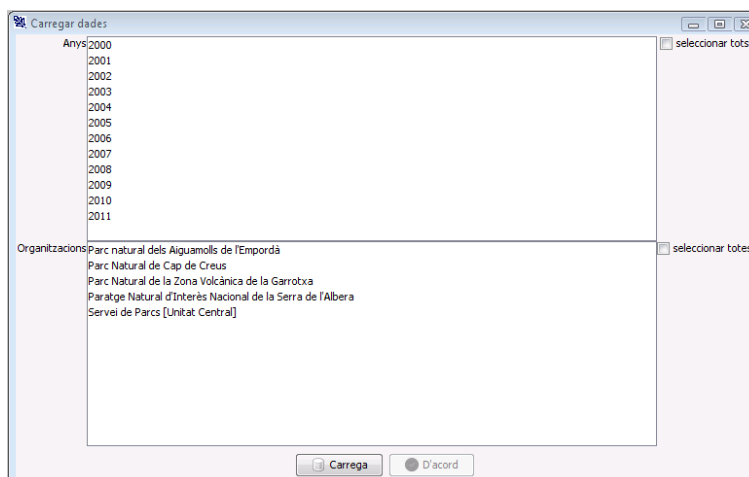


Figura 2. Panel de carga de datos según permisos asignados una vez el usuario se ha identificado

Carga de datos, *caché local* y sincronización con la base de datos

En el panel de carga (Figura 2) el usuario selecciona los años y organizaciones para los cuales desea cargar los datos. La aplicación cliente envía la consulta a la aplicación servidora del sistema, la cual la ejecuta contra la base de datos, empaqueta los datos y los envía de vuelta al cliente. Una carga de datos representa la ejecución de múltiples consultas contra la base de datos. Estas consultas son ejecutadas por la aplicación servidora y los datos devueltos se envían al cliente en un solo paquete. Esta forma de obtener los datos es mucho más eficiente que realizar directamente las consultas a la base de datos desde la aplicación cliente.

Para agilizar la gestión de datos incluso en situaciones con conexiones modestas se ha implementado una gestión de datos basada en una *caché* o copia local de los datos. Una vez cargados los datos por el usuario se almacenan en su directorio local y la aplicación cliente trabaja directamente con ellos. La experiencia para el usuario es la de máxima agilidad de respuesta en contraste con las típicas aplicaciones *web* donde se llevan a cabo constantes interacciones con el servidor. La aplicación cliente se sincroniza con la base de datos a petición del usuario o cada vez que se edita una actuación. Ésto permite que el usuario trabaje siempre con la última versión de los datos y se asegure que cuando esté editando esté utilizando la última versión de la información de una actuación.

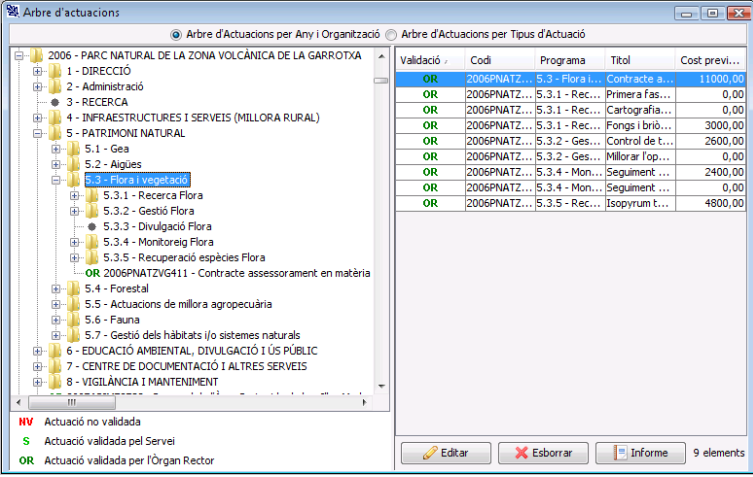
Edición de datos, bloqueos y registro de cambios

Para evitar que dos usuarios puedan estar simultáneamente editando la misma información cuando se inicia una acción de edición automáticamente se bloquea la actuación impidiendo ser modificada por otro usuario. Una vez el usuario acepta los cambios realizados, éstos son enviados a la base de datos y se libera la actuación para posteriores modificaciones. El sistema registra para cada evento de edición de una actuación, el tipo de modificación, el usuario y la marca de tiempo. Se mantiene un registro de los cambios realizados en las actuaciones.

Organizaciones y gestión de programas de actuación

En nuestro contexto un programa de actuación representa una previsión de listado de actuaciones de diversa índole (obras, estudios, proyectos de conservación, etc.) que deberán llevarse a cabo en una organización (e.g. un Servicio de la administración pública ambiental) durante un ejercicio equivalente a un año natural (excepto en el caso de las actuaciones plurianuales). Dicho programa de actuación está estructurado en forma de índice jerárquico de capítulos, subcapítulos, etc. (Figura 3). Cuando hablamos de organización nos referimos a cualquier organismo público que estructure su actividad en un programa de actuación. En el caso concreto del proyecto descrito, las organizaciones para las cuales se ha implementado son las mencionadas como promotoras en la sección anterior de antecedentes y los parques dependientes del Servicio de Parques.

Los programas de actuación de los diferentes organismos (servicios, parques) se han estandarizado en un mismo esqueleto jerárquico. El esqueleto estandarizado fija los capítulos para los dos primeros niveles de la jerarquía (5 y 5.1 en la Figura 3, por ejemplo) y deja libertad para la definición de niveles inferiores. Esto permite cierta libertad para la generación de cada programa de actuación particular a la vez que establece una estructura común que permite la comparación de programas de actuación entre organismos similares, por ejemplo parques naturales.



Validació	Codi	Programa	Títol	Cost previ...
OR	2006PNATZ...	5.3 - Flora i...	Contracte a...	11000,00
OR	2006PNATZ...	5.3.1 - Rec...	Primera Fas...	0,00
OR	2006PNATZ...	5.3.1 - Rec...	Cartografia...	0,00
OR	2006PNATZ...	5.3.1 - Rec...	Fongs i bri...	3000,00
OR	2006PNATZ...	5.3.2 - Ges...	Control de t...	2600,00
OR	2006PNATZ...	5.3.2 - Ges...	Millorar fop...	0,00
OR	2006PNATZ...	5.3.4 - Mon...	Seguiment ...	2400,00
OR	2006PNATZ...	5.3.4 - Mon...	Seguiment ...	0,00
OR	2006PNATZ...	5.3.5 - Rec...	Isopyrum t...	4800,00

Figura 3. Panel de visualización del árbol jerárquico del programa de actuación

Una vez elaborados los programas de actuación por los equipos gestores de los parques, éstos son validados por sus órganos rectores y por el servicio de parques. Determinadas actuaciones propuestas pueden no ser validadas y, por lo tanto, en principio no serán llevadas a cabo. Las actuaciones validadas quedan bloqueadas por el sistema y no pueden ya ser modificadas, quedando el programa de actuación oficializado con la fecha concreta de aprobación del mismo. Las no validadas también se guardan almacenadas en la base de datos.

Las actuaciones

Otro nivel de estandarización es el de la actuación en sí misma. Para cada actuación se han definido una serie de campos de información que incluyen datos básicos de la actuación (organismo responsable, área responsable, técnico responsable, título, años, capítulo de programa, tipo, otras áreas colaboradoras, descripción, objetivos, observaciones y calendario previsto), presupuesto previsto (conceptos, años, partidas presupuestarias, coste e ingreso), presupuesto ejecutado (conceptos, años, partidas presupuestarias, coste, ingreso, proveedor, tipo de expediente, tipo de beneficiario y programa asociado), ámbito territorial (provincia, comarca, espacio protegido, porcentaje de asignación de la actuación al ámbito, hábitats afectados), aspectos legales (mandato parlamentario si es el caso), documentos, imágenes, seguimiento (resultados cualitativos, cuantitativos, y valoración global) y cartografía (representación gráfica sobre el territorio).

En el caso de tipo de actuación se ha realizado un esfuerzo para llegar a un consenso sobre un listado común que permita agregar las actuaciones de diferentes organismos según su tipología. Los tipos de actuación permitidos son los detallados en la Figura 4.

Tipus d'actuació	Descripció del tipus
Actuacions de promoció socioeconòmica/millora rural	Actuacions sobre la xarxa viària, suport a infraestructures ramaderes, suport a l'activitat turística, redacció d...
Actuacions de conservació/restauració del patrimoni cultural	Arranjament de murs, fonts, recs, cabanes, parets seques i altres elements del patrimoni cultural, redacció de...
Actuacions d'ordenació de l'ús públic	Centres d'informació/interpretació, albergs i refugis, aguaites, passeres, mampares, miradors, itineraris i sende...
Estratègies i programes	Estratègies, programes, directius, plans d'acció i altres documents de programació d'escala global
Estudis	Estudis, treballs de base, inventaris, catàlegs, llistats, censos, cartografies, bases de dades temàtiques, treb...
Actuacions d'intervenció administrativa	Informes, autoritzacions, concessions, actuacions d'assessorament, gestió d'arxius i centres de documentació...
Actuacions de conservació/restauració del patrimoni natural	Inversions o manteniments per a la conservació/restauració d'hàbitats, reintroducció d'espècies, actuacions d...
Normativa	Lleis, reglaments, decrets, ordres... amb normativa de caràcter general
Actuacions d'educació ambiental, divulgació i formació	Llibres, opuscles, triptics, pósters, vídeos, CDs, pàgines web i altres publicacions, guiatges, cursos, jornades, ...
Adquisició, lloguer i manteniment d'equipaments, material i utilitatge	Màquines, informàtica, eines, vestuari, vehicles, instal·lacions de telecomunicacions, material fungible, equipam...
Relacions externes	Participació en altres institucions, comitès, grups de treball, xarxes, pagament d'inscripcions i quotes
Plans	Plans especials, plans directors, plans de gestió, plans rectors d'ús i gestió, plans de conservació o recuperaci...

Figura 4. Tipos comunes de actuación para todos los organismos

Este tipo de estandarización es importante para poder analizar conjuntamente los fondos destinados a diferentes conceptos por el conjunto de organismos de una organización y conocer detalladamente en qué tipo de actuaciones se están destinando los fondos públicos. Permite por ejemplo, conocer si existe algún sesgo en el repartimiento de esfuerzos tanto económicos como humanos para poder luego decidir si está justificado. En definitiva, una vez homogeneizada e integrada la información dentro del sistema se convierte en una eficaz herramienta de análisis para los gestores de la administración (Figura 10).

Integración de funciones y georeferenciación de actuaciones

Un aspecto importante para los gestores de la administración es conocer como se distribuye territorialmente su acción de gobierno, su inversión en actuaciones sobre el territorio. Conocer la distribución espacial de las actuaciones permite ver cómo se distribuyen éstas en función de múltiples parámetros: organismo que las ejecuta, tipo de actuación, inversión, etc. Se pueden realizar múltiples representaciones sobre un mapa, analizar si éstas se han distribuido correctamente, detectar zonas donde existe una inversión muy elevada y zonas con muy escasa inversión, elaborar mapas de inversión por municipio, comarca o provincia, etc.

Un aspecto importante para el usuario final de un sistema es su facilidad de uso y la integración de múltiples herramientas en un único entorno, hecho que al final redundará en una mayor utilización de la herramienta. El módulo de gestión de las actuaciones (y por extensión el resto de módulos del proyecto SIPAN) integran la edición y consulta de información alfanumérica, documentos (textos, hojas de cálculo, imágenes, etc.) e información cartográfica. Mediante el mismo panel de edición el usuario puede entrar datos alfanuméricos, ficheros y datos de georeferenciación en una única transacción. Los paneles de edición llevan integrado un navegador de cartografía OGC con capacidades de digitalización de elementos gráficos básicos: puntos, líneas y polígonos (Figura 7). El usuario puede entrar los tres tipos de información y enviar finalmente con un solo clic toda la in-

formación a la base de datos. La información de georeferenciación se guarda en una geodatabase integrada en la propia base de datos de actuaciones.

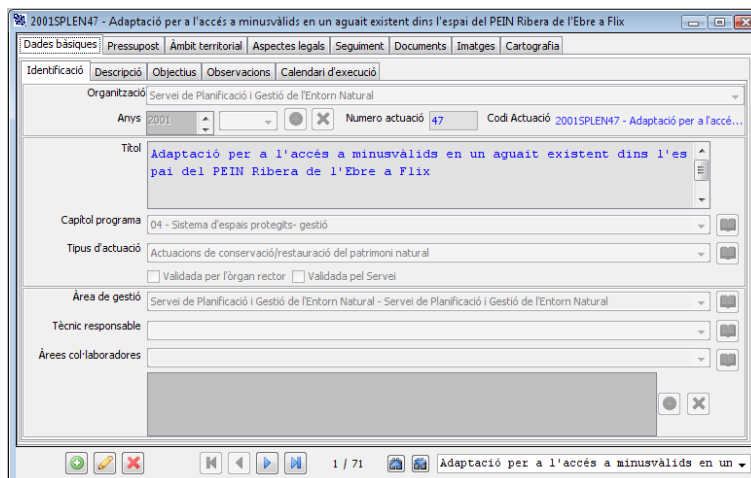


Figura 5. Panel integrado de edición de información con subpaneles dedicados a información alfanumérica, documentos e imágenes y digitalización de la georeferenciación

En referencia a la georeferenciación se permite georeferenciar una misma actuación mediante la utilización simultánea de elementos gráficos de diferentes tipos (puntos, líneas y polígonos). Así, por ejemplo una actuación de restauración de una actividad extractiva podría ser representada por un polígono que delimitase la zona de la actividad que se ha restaurado, una línea para indicar el camino de acceso reparado y una puntos para indicar la ubicación de la señalización instalada.

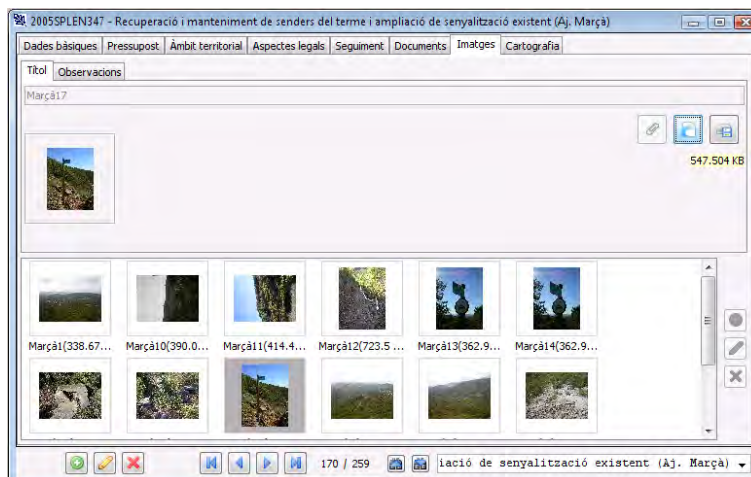


Figura 6. Panel de entrada de ficheros, imágenes en este caso

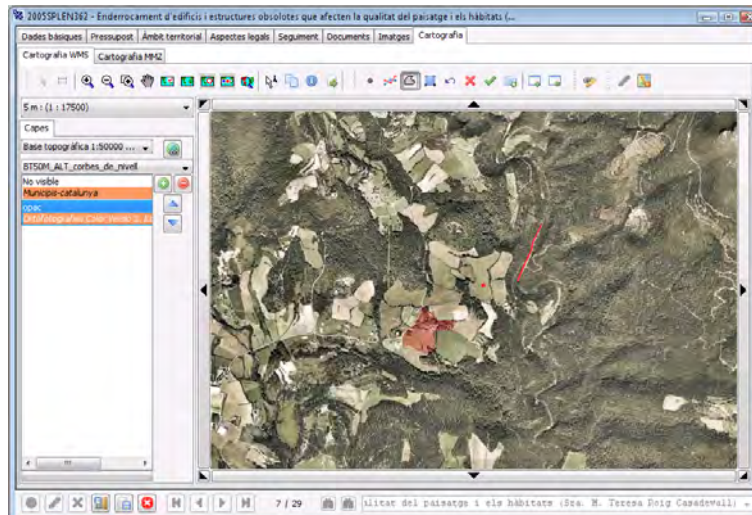


Figura 7. Navegador OGC integrado con capacidades de digitalización

Filtro de datos

La aplicación proporciona un panel de filtro (Figura 8) de datos por múltiples criterios mediante el cual el usuario puede seleccionar un subconjunto de actuaciones sobre las que editar o consultar datos. Una vez aplicado un filtro, las distintas herramientas de explotación de datos (gráficos dinámicos, representación cartográfica, etc.) permiten su funcionamiento utilizando todos los datos cargados o sólo los datos que cumplan el filtro aplicado. La aplicación ofrece información sobre el número de datos filtrados y totales en la barra de estado (Figura 9).

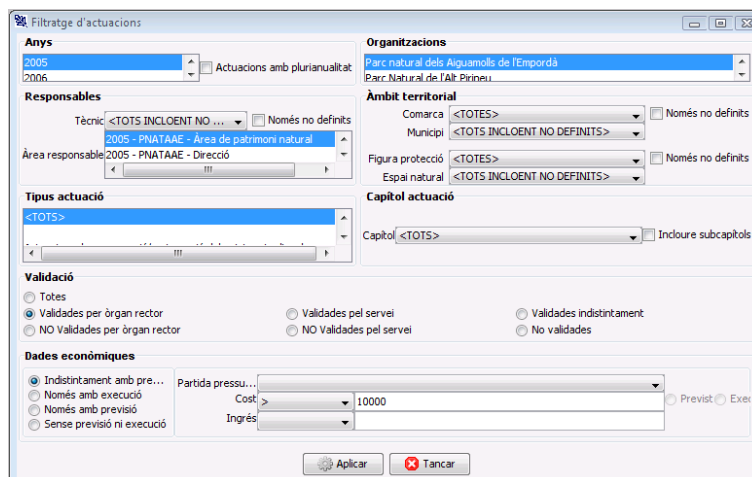


Figura 8. Panel de filtro multicriterio

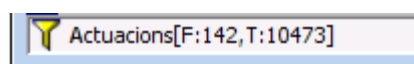


Figura 9. En la barra de estado se informa del número de elementos filtrados (F) y total (T)

Visualización en formato árbol

El panel de visualización en formato de árbol (Figura 3) permite al usuario navegar por los programas de actuación de las organizaciones y poder explorar cada uno de sus capítulos y subcapítulos. El panel ofrece un árbol con nodos desplegable correspondientes a los capítulos y subcapítulos de los programas. Al seleccionar cualquier nivel de nodo del árbol en el subpanel de la parte derecha aparece el listado de actuaciones que pertenecen a dicho nivel y todos sus subniveles. Desde éste listado es posible ir a la edición de una actuación, realizar un informe dinámico en formato *pdf* o borrar la actuación.

Gráficos dinámicos

La aplicación de actuaciones y todas las aplicaciones del proyecto SIPAN disponen de una herramienta de gráficos dinámicos (Figura 10). Se pueden realizar diversos tipos de representaciones combinando diferentes variables dependientes e independientes (por ejemplo: número de actuaciones por tipo, previsión presupuestaria por organización, etc.). La aplicación realiza los gráficos bajo petición y teniendo en cuenta la existencia o no de filtros aplicados a los datos. Se pueden crear gráficos de diversos tipos (histogramas, de líneas o circulares con o sin efecto 3D). Los gráficos generados son exportables a *pdf*, se pueden copiar en el portapapeles para pegar en un informe o guardar en disco en formatos gráficos.

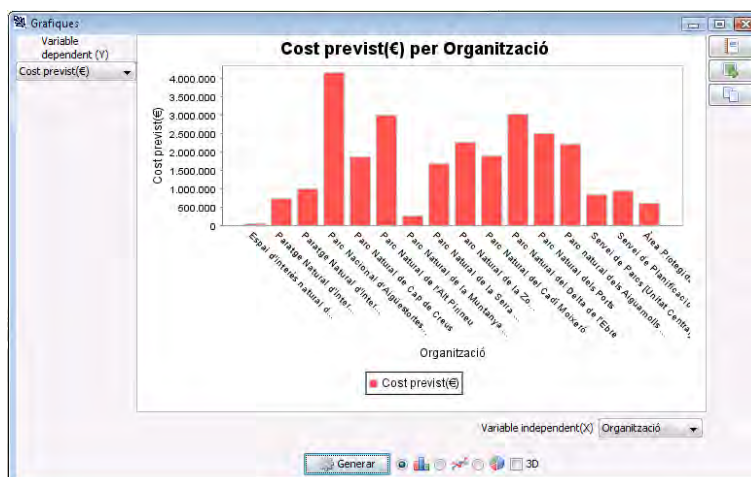


Figura 10. Histograma representando el coste previsto del programa de actuación por organización para el año 2006

Generación de informes

Anteriormente a la existencia de esta herramienta los programas de actuación eran elaborados por cada organización (cada parque) con procesador de textos. Actualmente, se pueden elaborar los programas de actuación automáticamente en formato *pdf*, *rtf* o *html* mediante la aplicación a partir de la base de datos. También podemos realizar informes de actuaciones individuales que incluyan imágenes y cartografía.

Navegador integrado de cartografía

Se ha diseñado e implementado un navegador OGC de cartografía con capacidades para digitalizar puntos líneas y polígonos mediante el ratón o el teclado. El panel aprovecha la riqueza de servidores OGC disponibles para proveer al usuario de múltiples capas de información cartográfica de referencia sobre las cuales visualizar la ubicación de las actuaciones. A través de los servidores OGC del Instituto Cartográfico de Cataluña o del propio Departamento de Medio Ambiente y Vivienda se tiene acceso a cartografía de referencia de alta calidad a

escala 1:5000 (series de ortofotografías y topográficos). Ésto permite digitalizar con precisión la georeferenciación de las actuaciones.

El panel de cartografía se integra a dos niveles distintos en la aplicación. Un primer nivel ya mencionado es dentro del panel de edición de datos. En este caso se utiliza para la digitalización y visualización sobre el territorio de una sola actuación. En un segundo nivel, el panel de cartografía se integra dentro de la aplicación como panel de consulta conjunta de la georeferenciación de todo el programa de actuación (Figura 11). En éste caso el panel nos permite visualizar la distribución espacial de uno o varios programas de actuación e identificar sobre el mapa cada actuación mediante una selección con el ratón o mediante la selección en un listado en la parte izquierda del panel que nos señala sobre el mapa la actuación seleccionada cambiándola de color (ejemplo: el punto amarillo se corresponde a actuación seleccionada en el listado).

Los paneles de cartografía llevan integrados herramientas de importación y exportación para datos en formato MiraMon. Se prevé para versiones posteriores la importación y exportación a formatos estandarizados como GML y KML.

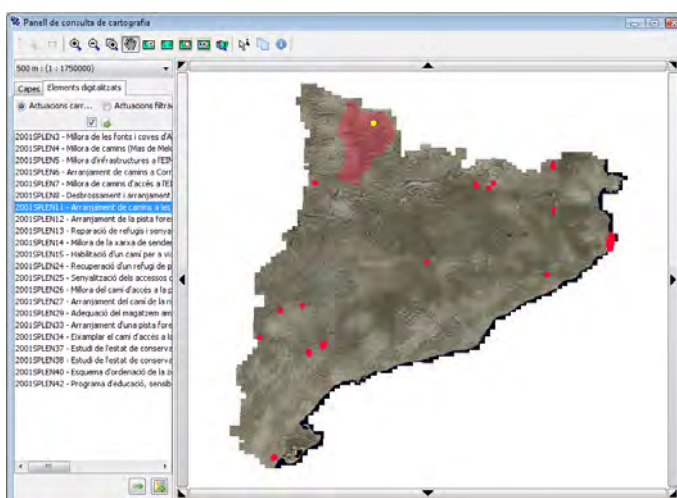


Figura 11. Panel general de cartografía mostrando una selección de actuaciones

RESULTADOS

Hasta la fecha se ha desplegado el módulo en 17 organizaciones distintas dentro de la Dirección General del Medio Natural del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalidad de Cataluña. Estas organizaciones corresponden a: 1 parque nacional, 9 parques naturales, 3 parajes naturales de interés nacional, 1 espacio natural de interés, 1 área protegida por ley y 2 servicios. Se han registrado más de 10000 actuaciones en la base de datos correspondientes al período 2001-2008. El año inicial de entrada de actuaciones en el sistema varía según la organización. Actualmente se está en proceso de desplegar una nueva versión mejorada de la aplicación.

Se ha podido comprobar la mayor agilidad de la solución adoptada comparada con versiones anteriores de la aplicación en formato aplicación *web*. Las aplicaciones *web* requieren de constantes interacciones con el servidor remoto y se convierten en aplicaciones muy lentas en entornos con conexiones modestas como es el caso de algunos parques con sedes en entornos rurales donde no llega la banda ancha.

CONCLUSIONES

El desarrollo realizado con este módulo para la administración ambiental de la Generalidad de Cataluña ha probado ser eficaz en la organización, almacenamiento y explotación de la información referente a las actuaciones.

nes llevadas a cabo por la administración ambiental. Aunque desarrollado para los requerimientos de dicha administración el diseño de la aplicación permite su adaptación a organizaciones distintas. Todos los módulos del proyecto SIPAN comparten una base de código general que les proporcionan herramientas comunes tales como la generación de informes, gráficos, gestión de cartografía, exportación de datos, etc.

La opción de desarrollar aplicaciones de escritorio en vez de típicas aplicaciones *web* ha sido un factor importante en la mejora de la usabilidad de las aplicaciones, en especial en entornos con infraestructuras informáticas modestas. El mantenimiento de una copia en local de los datos sincronizada con la base de datos remota es una estrategia válida para éstos entornos.

La tecnología *jnlp* o *web start* de Java permite un despliegue de aplicaciones de escritorio similar a la facilidad de despliegue de las aplicaciones *web*. Con esta tecnología se garantiza que los usuarios trabajen siempre con las versiones correctas de las aplicaciones. Desplegando la aplicación en una sola ubicación es suficiente para actualizar todos los ordenadores cliente.

En las organizaciones públicas ambientales se trabaja habitualmente con información alfanumérica, documental (textos, hojas de cálculo, imágenes) y cartográfica. La integración en una sola aplicación de herramientas para el almacenamiento y gestión de los tres tipos de información simplifica en gran medida las tareas de los usuarios.

En el caso de la información geográfica, la reciente disponibilidad de servidores de cartografía OGC permite desarrollar herramientas muy simples y al mismo tiempo muy potentes para tratar información geográfica de los elementos básicos tratados en aplicaciones de bases de datos como las actuaciones. La georeferenciación de cualquier tipo de elemento gestionado por una aplicación de base de datos es susceptible de ser fácilmente georeferenciado con las herramientas mencionadas.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de éste proyecto ha sido posible gracias al soporte y financiación del Servicio de Planificación y Gestión del Entorno Natural y del Servicio de Parques de la Dirección General del Medio Natural del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalidad de Cataluña. Éstos proyectos no habrían sido posibles sin la determinación, empeño y dirección compartida de Salvador Grau, Maria Pery y Jaume Vicens, jefes y ex-jefe de servicio, y sus directos colaboradores Francesc Diego, Pau Sainz, Albert Vila y el personal de la Dirección General.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dautelle, Jean-Marie. JScience: <http://jscience.org/>

Departamento de Medio Ambiente y Vivienda. Generalidad de Cataluña. Parques de Cataluña: http://mediambient.gencat.net/esp//el_medi/parcs_de_catalunya/inici.jsp

JasperSoft. JasperReports: http://www.jaspersoft.com/JasperSoft_JasperReports.html

Marcer, A. y Escobar, A. (2003): Diseño e implementación de un sistema de información para el seguimiento del catálogo de espacios naturales protegidos con capacidad para el registro de cambios históricos. *IX Conferencia Iberoamericana de SIG*. Cáceres.

Marcer, A.; Escobar, A. y García, V. (2007): Keeping Track of legal and Cartographic Contexts in Protected Areas. *13th EC-GI&GIS Workshop. INSPIRE Time: ESDI for the Environment*. Porto, Portugal

Marcer, A.; Pons, X. y Vicens, J. (2000): *Vulcà: Sistema d'Informació Geogràfica aplicat a la gestió del Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa*. [CD-ROM]. Departament de Medi Ambient (Generalitat de Catalunya), Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals e Institut Cartogràfic de Catalunya. Bellaterra. Barcelona.

Pons, X. (2004): *MiraMon. Sistema de Información Geográfica y software de Teledetección*. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales, CREAM. Bellaterra.

Object Refinery Limited. JfreeChart: <http://www.jfree.org/jfreechart/>

Open Geospatial Consortium, Inc. Open GIS Standards and Specifications:
<http://www.opengeospatial.org/standards>

Oracle Database: <http://www.oracle.com/database/index.html>

The Apache Software Foundation. Apache Tomcat: <http://tomcat.apache.org/>

Sun Microsystems, Inc. Java Technology: <http://www.sun.com/java/>

Vivid Solutions, Inc. Java Topology Suite: <http://www.vividsolutions.com/jts/jtshome.htm>

Miramontes Carballada, Ángel (2008): SIFI-Galicia. La puesta en valor mediante un SIG del sector forestal y la industria transformadora de la madera en Galicia. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 312-324. ISBN: 978-84-96971-53-0.

SIFI-GALICIA. LA PUESTA EN VALOR MEDIANTE UN SIG DEL SECTOR FORESTAL Y LA INDUSTRIA TRANSFORMADORA DE LA MADERA EN GALICIA.

Miramontes Carballada, Ángel

Centro de Innovación e Servizos Tecnolóxicos da Madeira de Galicia. CISMADEIRA. Avenida de Galicia, nº5. Parque Tecnolóxico de Galicia. 32901. San Cibrao das Viñas. OURENSE. Tfno: +34 988368152. Fax: +34 988368153. e-mail: angelmiramontes@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo muestra los primeros resultados de un proyecto de investigación sumamente ambicioso que se está desarrollando desde el CISMADEIRA (Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la Madera de Galicia). La ambición e interés de este proyecto es doble. En primer lugar porque en la actualidad a pesar de la significación que tiene tanto el sector forestal como la industria transformadora de la madera en Galicia dentro de su estructura socioeconómica y territorial. No existe ningún estudio que analice estas variables en conjunto y, por lo tanto que plantee los análisis y diagnósticos que se pueden efectuar con el desarrollo de un SIG que contiene las variables de estas dos actividades. En segundo lugar, indicar que este estudio se está coordinando desde el mencionado centro tecnológico, pero con motivo de su importancia colaboran en el mismo el CESGA (Centro de Supercomputación de Galicia) y el IDEGA (Instituto Universitario de Estudos e Desenvolvemento de Galicia) centro que pertenece a la USC (Universidade de Santiago de Compostela). Además de manejar una amplia variedad de estructuras territoriales (distritos forestales, municipios, comarcas, usos del suelo, etc.) modificadas para su correcto uso, se combina con la fuente más importante que existe sobre el universo empresarial de las industrias transformadoras de la madera de Galicia que aglutinan desde sus consumos y tipos de materia prima a empleo o facturación. Toda esta información se trata con el programa ARCGIS 9.2 y será ofertada por medio de un geoportal. Por lo que se conseguirá representar la significación que tiene este sector, conocer su influencia en el territorio y relacionar con las potencialidades forestales de Galicia. Además, una vez quede perfectamente estructuradas las diferentes bases de datos y los análisis forestales-industriales se fijarán los cimientos del proyecto que permitirán actualizar los datos, por lo que el proyecto SIFI-Galicia será imperecedero y podrá ser modificado según las demandas del sector de la madera y de la economía gallega.

Palabras Clave: industria, madera, forestal, SIG, Galicia.

ABSTRACT

The present work shows the first results of an extremely ambitious project of investigation that is being developed from the CISMADEIRA (Center of Innovation and Technological Services of the wood of Galicia). The ambition and interest of this project is double. Firstly, because nowadays in spite of the significance that both the forest sector and the industry of the wood in Galicia inside its socioeconomic and territorial structure have, it does not exist any study that analyzes these variables as a whole and, therefore that raises the analyses and diagnoses that can be carried out with the development of a GIS that contains the variables of these two activities. Secondly, to indicate that this study is being coordinated from the mentioned technological center, but on occasion of its importance there collaborate CESGA (Center of Supercomputing of Galicia) and IDEGA (University institute of Studies and Development of Galicia) which belongs to the USC (University of Santiago de Compostela). Beside handling a wide variety of territorial structures (forest districts, municipalities, regions, uses of the soil, etc.) modified for its correct use, this is combined with the most important source that exists on the managerial universe of the industries of the wood of Galicia that agglutinate consume, raw material or financial. All this information is treated with the program ARCGIS 9.2 and it will be offered by a web server. For what, it will be possible to represent the significance that this sector has, to know its influence in the territory and to relate with the forest potentials of Galicia. In addition, in the moment that the different databases and the forest-industrial analyses are perfectly constructed, the foundations of the project will be fixed which will allow to update the information, for what the project SIFI-Galicia will be imperishable and it will be able to be modified according the demands of the sector of the wood and of the Galician economy.

Key Words: industry, wood, forest, GIS, Galicia.

INTRODUCCIÓN

La industria de la madera se trata de una de las actividades que tienen mayor significación dentro de la estructura socioeconómica de Galicia, gracias tanto a las características del sector forestal como de las propias empresas transformadoras de la madera. De hecho presenta una facturación anual próxima a los 2.500 millones de euros, representa el 3,5% del PIB de Galicia y da empleo directo a cerca de 25.000 personas (Xunta, 2007).

La significación territorial de las hectáreas forestales gallegas queda demostrada al comprobar como de las 2.957.413 hectáreas de superficie de Galicia, las ocupadas por uso forestal representan el 59% de la superficie de Galicia (1.731.783 Ha.), de las que además el 67% son arboladas (1.159.426 Ha.) (STIGA, 2006).

La industria transformadora la componen una serie de sectores que son: los aserraderos (cerca de 400, con una facturación aproximada de 335 millones de euros y un empleo directo a más de 3.000 personas), que realizan la primera transformación sobre la madera luego de ser cortada. Los fabricantes de chapas y tableros de madera (20 fábricas que facturan algo más de 700 millones de euros y dan empleo directo a más de 2.500 personas) cuyos productos tienen como destino las carpinterías y fábricas de muebles. Estas carpinterías y fábricas de muebles (cerca de 2.800, que facturan en torno a 1.000 millones de euros y dan empleo a más de 16.000 personas) son los que realizan una segunda transformación sobre la madera y obtienen un valor añadido mayor sobre la primera transformación. El último sector lo constituyen las industrias químicas que producen pasta de papel (centraliza en una empresa de pasta de celulosa, con más de 1.000 empleos directos y factura unos 300 millones de euros) que posteriormente se transforma en papel, cartón y derivados.

Actualmente el factor más problemático y que ocasiona el mayor distanciamiento productivo entre el sector forestal y la industria transformadora es que cada uno de estos sectores demanda un tipo de madera diferente, por lo que es frecuente que las superficies forestales de muchos territorios presenten desequilibrios y los empresarios transformadores de la madera se ven obligados a importar su materia prima para cubrir toda la demanda.

A pesar de esto, la industria de la madera de Galicia está desarrollada y representada tanto por industrias de la primera transformación (aserraderos), industrias de la segunda transformación (carpintería y muebles) y hasta por industrias químicas de la madera (fabricación de pastas de papel). A esto hay que añadir el importante lugar como abastecedor de madera de pino y eucalipto para el resto de España, lo que está correlacionado con la necesidad de una ordenación y planificación del territorio forestal gallego para abastecer al sector más rentable, la industria del mueble. Por lo que es necesario analizar (entre otros problemas) por que la industria del mueble no se abastece de la madera que dan sus montes, lo que ocasionaría que esta actividad se acercase al concepto de sostenibilidad.

Ante esta situación y dentro del amplio abanico de proyectos de investigación que se desarrollan desde el CISMADEIRA, se estimó oportuno crear una herramienta de alta capacidad como es un SIG que combine las variables forestales y las de las empresas transformadoras de la madera y suscitar una serie de actuaciones lógicas, con sentido común y respaldo científico que mejoren el desarrollo de la industria de la madera de Galicia.

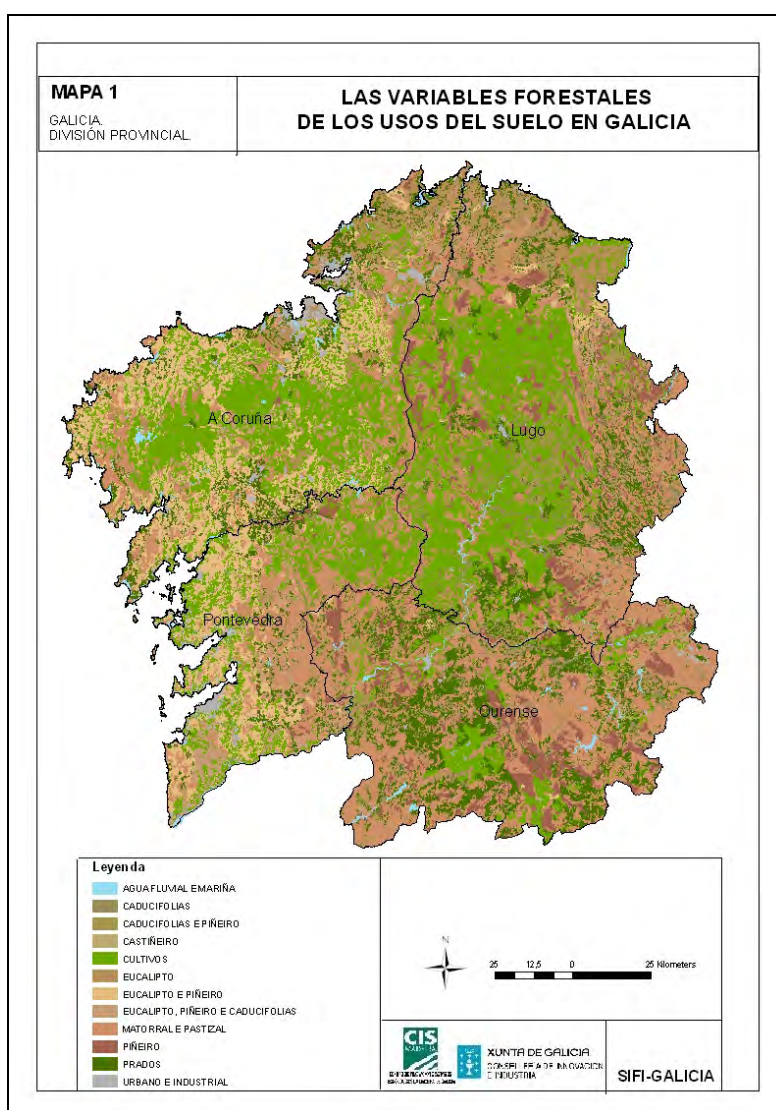
Dada la envergadura del objetivo del proyecto el CISMADEIRA cuenta con la colaboración, a modo de subproyecto, del CESGA (Centro de Supercomputación de Galicia) como agente responsable de la construcción del SIG y, del grupo de investigación ANTE (Análise Territorial) del IDEGA (Instituto Universitario de Estudos e Desenvolvemento de Galicia) de la USC (Universidad de Santiago de Compostela), como colaborador externo, que se encargó de realizar una serie de análisis de casos y trabajo de campo. La configuración de este grupo de trabajo, además de los objetivos del proyecto, permitieron que su ejecución fuese subvencionada dentro del “Plan Galego” de I+D (2006-2009) de la Xunta de Galicia dentro del Programa de “Biodiversidade e Recursos Forestais”.

Otra realidad forestal de Galicia y, que será objetivo de este trabajo, es el conocimiento de la no existencia de un plan de ordenación forestal coherente acorde con las características naturales y socioeconómicas de cada una de las áreas del territorio de Galicia. En cuanto a la industria transformadora de la madera, una gran potencialidad de nuestro territorio es que tenemos presencia de empresas en todos los sectores y en prácticamente todo el territorio.

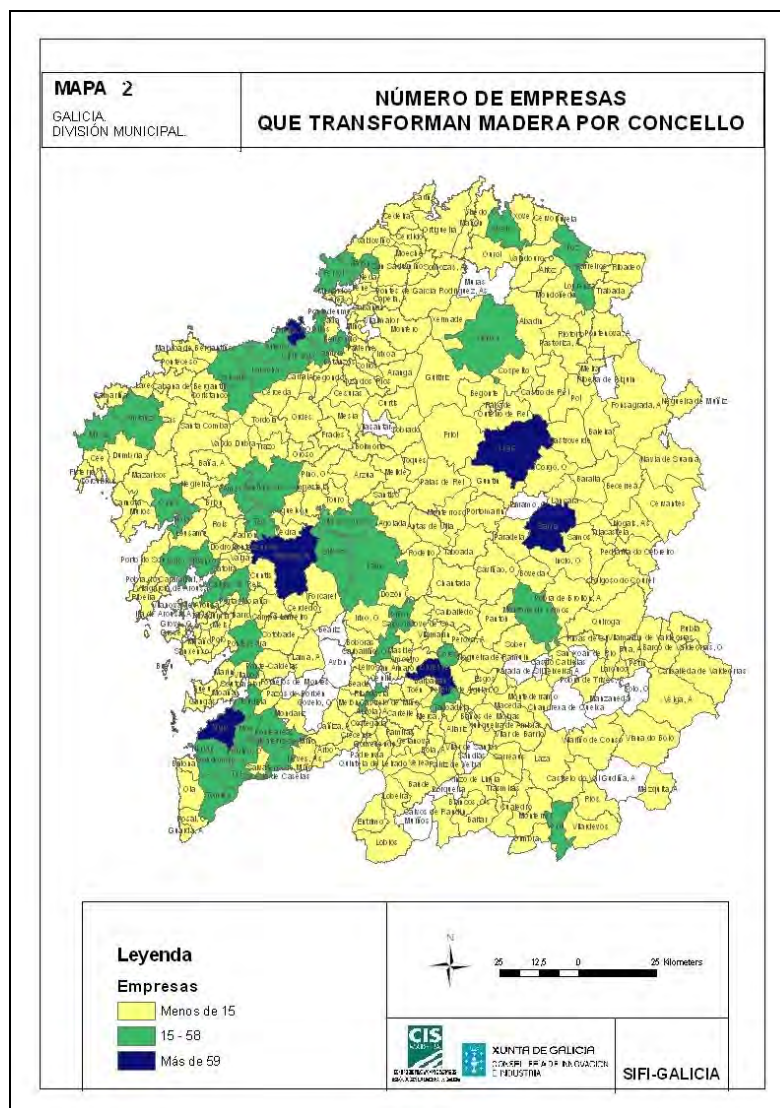
Destacar que la industria de la madera se trata de una actividad denominada como madura, que de todos los modos, supo adaptarse a los nuevos mercados y sistemas de producción. Pero el disponer de una herramienta y conseguir los objetivos que se suscitan en este proyecto son cruciales para su correcto y adecuado desarrollo.

En último lugar señalar que también profundizaremos en el análisis detallado de los SPL (Sistemas Productivos Locales) basados en la industria transformadora de la madera que existen en Galicia y que son fundamentales para el desarrollo socioeconómico de determinados municipios y comarcas de marcado carácter rural.

Por lo que ante la presencia de una serie de potencialidades forestales y la significación de la industria transformadora de la madera dentro de la estructura socioeconómica de Galicia, consideramos que la combinación de estas temáticas es necesaria y fundamental para el desarrollo de Galicia. Además queremos hacer hincapié que los objetivos que planteamos en este proyecto tienen un alto grado de aplicabilidad y se constituirá una herramienta altamente innovadora como es un SIG (Sistema de Información Geográfica) denominado como SIFI-Galicia (Sistema de Información Forestal-Industrial).



Mapa 1. Las variables forestales de los usos del suelo en Galicia. (Fuente: elaboración propia a partir del mapa de usos del suelo de Galicia. SITGA (2005). Consellería de Medio Rural. Xunta de Galicia)



Mapa 2. Número de empresas que transforman madera por municipio (Fuente: elaboración propia a partir del Censo de Empresas da Madeira. CISMADERA (2002). Consell. de Innovación e Industria. Xunta de Galicia)

MATERIAL Y MÉTODOS

Material

Los datos manejados pertenecen a dos temáticas muy específicas: la forestal y la de las empresas que transforman madera.

Dentro de la información utilizada para conocer el sector forestal. Además de estudiar los tres inventarios forestales de Galicia, que datan de 1972, 1986 y 1998, se centró el estudio en dos bases cartográficas ya existentes: CORINE (Base de Datos Geográfica sobre la Ocupación del Suelo de la Unión Europea) (1990 y 2000) y el mapa de usos del suelo de Galicia elaborado por el SITGA (Servicio de Información Territorial de Galicia) (2005).

Pero con motivo de la gran cantidad de información que aportan estas bases se realizó una reclasificación de los usos. Con lo que se crearon 12 grandes grupos que se caracterizan, por un lado, por aglutinar en usos variables frente a las forestales que adquieren mayor protagonismo y, son más determinantes para el correcto

desarrollo de este proyecto. Reiterar que esta reclasificación de usos tiene la pretensión de poder conocer en mayor detalle las características forestales del territorio de Galicia.

Tabla 1. Variables de cada uno de los nuevos usos del suelo.

NUEVOS USOS	CLASE25MIL	CLASE250MIL
1 MATORRAL E PASTIZAL	Breixeira	mato
	breixeira-pasteiro	pasteiros arbustivos
	Mato	mato
	mato e caducifolias	mato e especies arbóreas
	mato e especies madeiras	mato e especies arbóreas
	mato-pasteiro	pasteiros arbustivos
	mimosas en maioría, piñeiro e caducifolias	caducifolias e piñeiro
	mato-pasteiro con rocha	pasteiros arbustivos
2 PRADOS	Prados	prados en maioría, cultivos anuais e especies forestais
	prados en maioría e cultivos anuais	prados en maioría, cultivos anuais e especies forestais
	prados en maioría, cultivos anuais e castiñeiro	prados en maioría, cultivos anuais e especies forestais
	prados en maioría, cultivos anuais e caducifolias	prados en maioría, cultivos anuais e especies forestais
	prados en maioría, cultivos anuais e especies madeiras	prados en maioría, cultivos anuais e especies forestais
	prados en maioría, cultivos anuais e mato	prados en maioría, cultivos anuais e especies forestais
	prados en maioría, cultivos anuais e viñado	prados en maioría, cultivos anuais e especies forestais
3 CULTIVOS	cultivos anuais	cultivos anuais
	cultivos anuais en maioría e viñado	cultivos anuais en maioría e viñado
	cultivos forraxeiros en maioría e outros cultivos, vacún de carne	cultivos forraxeiros en maioría
	cultivos forraxeiros en maioría e outros cultivos, vacún de leite e carne	cultivos forraxeiros en maioría
	cultivos forraxeiros e especies madeiras, vacún de leite e carne	cultivos forraxeiros e especies forestais
	cultivos forraxeiros e mato, vacún de leite e carne	cultivos forraxeiros e especies forestais
	cultivos forraxeiros en maioría e outros cultivos, vacún de leite	cultivos forraxeiros en maioría
	cultivos forraxeiros, vacún de carne	cultivos forraxeiros en maioría
	cultivos forraxeiros, vacún de leite	cultivos forraxeiros en maioría
	Viñado	viñado en maioría e cultivos anuais
	viñado en maioría e cultivos anuais	viñado en maioría e cultivos anuais

	viñedo e vexetación forestal	viñedo en maioría e cultivos anuais
4 CASTIÑEIRO	Castiñeiro	caducifolias
5 PIÑEIRO	Piñeiro	piñeiro
6 EUCALIPTO	Eucalipto	eucalipto
7 CADUCIFOLIAS	Caducifolias	caducifolias
8 CADUCIFOLIAS E PIÑEIRO	caducifolias e piñeiro	caducifolias e piñeiro
9 EUCALIPTO E PIÑEIRO	eucalipto e piñeiro	eucalipto e piñeiro
10 EUCALIPTO, PIÑEIRO E CADUCIFOLIAS	eucalipto, piñeiro e caducifolias	eucalipto e piñeiro
11 AGUA FLUVIAL E MARIÑA	encoros e ríos	zonas de auga
	lagoas litorais	zonas de auga
	lagoas continentais	zonas de auga
	Marismas	praias, dunas, areais, marismas, zonas húmidas e rochedo de costa
	praias, dunas e areais	praias, dunas, areais, marismas, zonas húmidas e rochedo de costa
	rochedos costeiros	praias, dunas, areais, marismas, zonas húmidas e rochedo de costa
	zonas húmidas e pantanosas interiores	praias, dunas, areais, marismas, zonas húmidas e rochedo de costa
12 URBANO E INDUSTRIAL	Minas	explotacións mineiras a ceo aberto
	núcleos de poboación	zonas de asentamento da poboación e áreas industriais
	tecido urbano continuo	zonas de asentamento da poboación e áreas industriais
	Urbanizacións	zonas de asentamento da poboación e áreas industriais
	urbanización agrícola difusa	zonas de asentamento da poboación e áreas industriais
	zonas industriais, comerciais e de servizos	zonas de asentamento da poboación e áreas industriais

Fuente: elaboración propia a partir del mapa de usos del suelo de Galicia. SITGA (2005). Consellería de Medio Rural. Xunta de Galicia.

En cuanto a la información empresarial se utilizó el Censo de Empresas de la Madera que elaboró el CIS-MADEIRA ya en el periodo 2000-2002. La puesta en valor de este censo fue otra de las razones que le dieron prioridad al centro para desarrollar este proyecto. Ya que el conocimiento del universo empresarial de este sector es fundamental para realizar tomas de decisiones y desarrollar nuevas actuaciones y proyectos. Este censo, hasta el momento, destacaba por la cantidad de información que tenía de cada una de las empresas pero, tenía el déficit de que la información era sumamente heterogénea. Por lo que se puede afirmar que hasta el momento la fase del proyecto que creó mayores problemas y requirió de más horas de trabajo fue la depuración de este censo. Por un lado centrado en plasmar de un modo homogéneo la información y, a continuación incorporarla al SIG. De todos modos hay que hacer hincapié en que esta nueva base de datos es muy potente y plasma la situación real de las empresas que transforman madera en Galicia. Ya que de las 3.000 empresas almacenadas se tiene su localización, número de empleados, facturación, normas de calidad, productos (tipología y cantidad), materia prima (tipología y cantidad), madera (especie, cantidad y procedencia), suministros (tipo, volumen y procedencia) y subproductos (tipo, precio, cantidad y comprador). Además de poder diferenciarlas entre sí su

actividad está dentro de la primera o la segunda transformación, **por sector** (aserrado, chapa y tablero, carpintería y fabricación de muebles o industria de pasta de papel) o **por actividad** (aserrado y cepillado de la madera, chapa y tablero, corcho, cestería y esparciría, molduras, pavimentos y recubrimientos de madera, fabricación industrializada de puertas y ventanas de madera, fabricación de elementos de carpintería, fabricación de mueble de cocina y baño, fabricación de mobiliario (excepto cocina y baño), ebanistería, fabricación de ataúdes de madera, fabricación de envases y embalajes de madera, elementos laminados y estructuras de madera, fabricación de artículos de papelería, uso doméstico y otros, fabricación de papel y cartón ondulado, envases y embalajes de papel y cartón, fabricación de pasta papelera, fabricación de otros artículos de papel y cartón, fabricación de papel).

Además también se incluyeron la base de datos del ARDAN 2007 (Servicio de información empresarial del consorcio de la Zona Franca de Vigo) y el Registro Industrial de Galicia (2006) de la Xunta de Galicia. Con la finalidad de servir como datos de contraste con el censo del CISMADIRA y realizar un breve análisis de la evolución de las empresas de este sector.

A su vez, tanto las características forestales como de las empresas las podemos analizar a diferentes escalas territoriales: parroquia, municipio, comarca, provincia a la totalidad de Galicia. De todos modos sobre la estructura territorial que se realizan más estudios es sobre la de distritos forestales ya que posee una serie de características e infraestructuras que facilitarían la implantación de actuaciones tanto forestales como empresariales. Además dentro del SIG también se incorporaron las bases cartográficas de la red de ríos, de las diferentes tipologías de espacios naturales y las vías de comunicación, fundamentales y a tener en cuenta cuando se efectúen tomas de decisión.

En último lugar indicar que también se dispone de la base topográfica de Galicia 1:5.000 y de ortofotos. Concretamente de las del SIXPAC (Sistema de Información Xeográfica de Parcelas Agrícolas) del 2002 y, de las ortofotos PNOA (Plan Nacional de Ortofotos Aéreas) del 2004. Esta información será utilizada para la realización de los análisis de casos.

Métodos

Esta investigación se estructura en tres etapas. Antes de exponer brevemente cada una de las mismas destacar que este proyecto se fundamenta y tiene como objetivo principal la realización y la utilización de un SIG. En concreto se utilizó el software ArcGis 9.2. de ESRI.

Dentro de la primera etapa se efectuó un análisis profundo de las características de la industria de la transformación de la madera y el sector forestal en Galicia. Así como la estructuración territorial que tienen las industrias de la madera. Se comenzó realizando un exhaustivo análisis bibliográfico y de contextualización del origen de la industria de la madera en Galicia, pasando desde su significación dentro de la evolución de la estructura económica de Galicia, a su encuadre dentro de la industria de la madera en España. Así como comprobar y caracterizar las potencialidades del sector forestal de Galicia y, su representatividad dentro de España.

La realización de esta etapa nos aportó mucha información y conocimiento sobre la temática a estudiar así como los pasos a seguir para que la confección del SIG fuese más provechosa tanto para dinamizar sus potencialidades como para solucionar sus debilidades.

De hecho la segunda etapa se corresponde con la realización de la propia herramienta SIG. Reiterar que en esta etapa fue fundamental la colaboración que se prestó desde el CESGA. Al realizar esta etapa comprobamos como un SIG es una herramienta tecnológica y que permite suscitar unos resultados que no se conseguirían de ningún otro modo, ya que asocia territorio con información temática. El esfuerzo de poner en marcha un SIG merece la pena, pues permite interrogarlo o hacer consultas sobre el espacio asociando elementos forestales y de la industria de la madera.

Una vez desarrolladas la primera y la segunda etapa, es decir, que ya tenemos por un lado un importante documento en el que se reflejan cada una de las características de la industria transformadora de la madera y el sector forestal y, por otro lado, un SIG con todas sus peculiaridades, damos comienzo a la tercera etapa, quizás la más importante y significativa del proyecto.

En esta etapa se realiza un amplio y detallado estudio combinativo de la denominada cadena monte-industria, que nos permitirá analizar y crear un diagnóstico de cada uno de los sectores que componen la industria transformadora de la madera así como su relación con el monte, su vinculación y representatividad territorial, medioambiental, social y económica.

Para agilizar la creación de una serie de cartografía y poder realizar consultas sobre el SIG de un modo rápido y sin tener conocimientos de esta tipología de software, se crearon una serie de ventanas que facilitan su manejo.

A) Ventana 1. Clasificación de empresas por municipio.

- Lista 1. Número de empresas, empleo y facturación según pertenezcan a la primera o a la segunda transformación.
- Lista 2. Tablas por sector por número de empresas, empleados y facturación.
- Lista 3. Tablas para cada una de las normas de calidad y totales que tienen implantadas las empresas.

B) Ventana 2. Actividades.

Lista 1. Representación del número de empresas, empleo y facturación a escala municipal según la tipología de su actividad principal (chapa y tablero, fabricación de puertas y ventanas, fabricación de muebles de cocina, etc.). Posibilidad de 17 tipos de actividades.

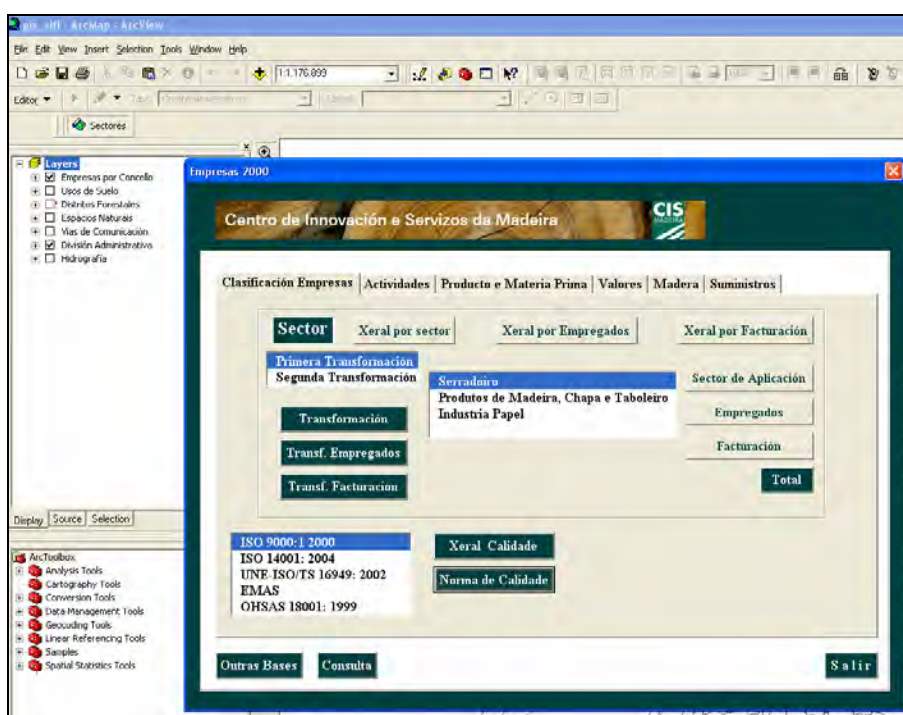


Figura 1. Ejemplo de la ventana 1 (Fuente: elaboración propia)

C) Ventana 3. Producto y Materia Prima.

- Lista 1. Representación de las cantidades y tipo de producto por municipio.
- Lista 2. Cantidad de producto según su unidad.
- Lista 3. Representación de las cantidades de Materia Prima y tipo por municipio.

- Lista 4. Cantidad de materia prima según su unidad.

D) Ventana 4. Madera.

- Lista 1. Número de empresas por municipio según el tipo de madera que consumen.
- Lista 2. Número de empresas por tipología de madera y cantidad.
- Lista 3. Relación de consumos de madera por especie y procedencia.
- Lista 4. Número y localización de viveros forestales.



Figura 2. Ejemplo de la ventana 4 (Fuente: elaboración propia)

E) Ventana 5. Subproductos y suministros.

Lista 1. Subproductos (relación de 19 tipos: astilla, corteza, chapa, etc.)

- Número de empresas según consumo de subproductos.
- Gasto por cada uno de los subproductos.
- Cantidad de cada uno de los subproductos.
- Procedencia de los subproductos.

Lista 2. Suministros:

- Número de empresas según consumo de suministros.
- Cantidad de cada uno de los suministros.

F) Ventana 6. Otras bases (ARDAN y el Registro Industrial de Galicia).

Lista 1. ARDAN (múltiple):

- Número de empresas por municipio.
- Número de empresas según sector y actividad.
- Número de empleados según sector y actividad.
- Facturación por sector y por actividad.

Lista 2. Registro Industrial (múltiple):

- Número de empresas por municipio.
- Número de empresas según transformación, sector y actividad.
- Número de empleados según sector y actividad.
- Potencia por sector y por actividad.
- Características laborales (horas y días) por sector y por actividad.
- Inversión por sector y por actividad.
- Producción por sector y por actividad.
- Solares y edificios por sector y por actividad.

G) Ventana 7. Consulta múltiple.

Desde esta ventana se pueden combinar todas las variables según transformación, sector, actividad, materia prima, madera (procedencia), suministro (procedencia), comprador, productos y subproductos.

En último lugar se creará una página WEB en la que se podrá consultar el SIFI-Galicia tanto por la administración, asociaciones empresariales y personas relacionadas con la actividad forestal e industrial. Este geportal estará disponible en la propia página web del CISMADREIRA y se denominará como SIFI-Galicia (Sistema de Información Forestal-Industrial).

RESULTADOS

Destacar que hasta el momento no se efectuó ningún análisis y cálculo estadístico más allá del de la representación de variables absolutas y su significación territorial. Por lo que realmente no se están aprovechando las verdaderas potencialidades de este SIG. De todos modos hay que hacer hincapié en destacar que los mapas temáticos y las tablas de datos nos están aportando mucha información y nos confirman la distribución territorial de las masas arbóreas de Galicia así como la significación de la industria transformadora de la madera.

A la vez que se están consiguiendo resultados como es la realización de una base de datos espacial y temática que permite analizar el sector forestal y la industria de la madera en Galicia para ponerlo a disposición de la administración y los diferentes organismos que existen en Galicia relacionados con esta actividad como el Cluster de la Madera y diferentes asociaciones empresariales y forestales.

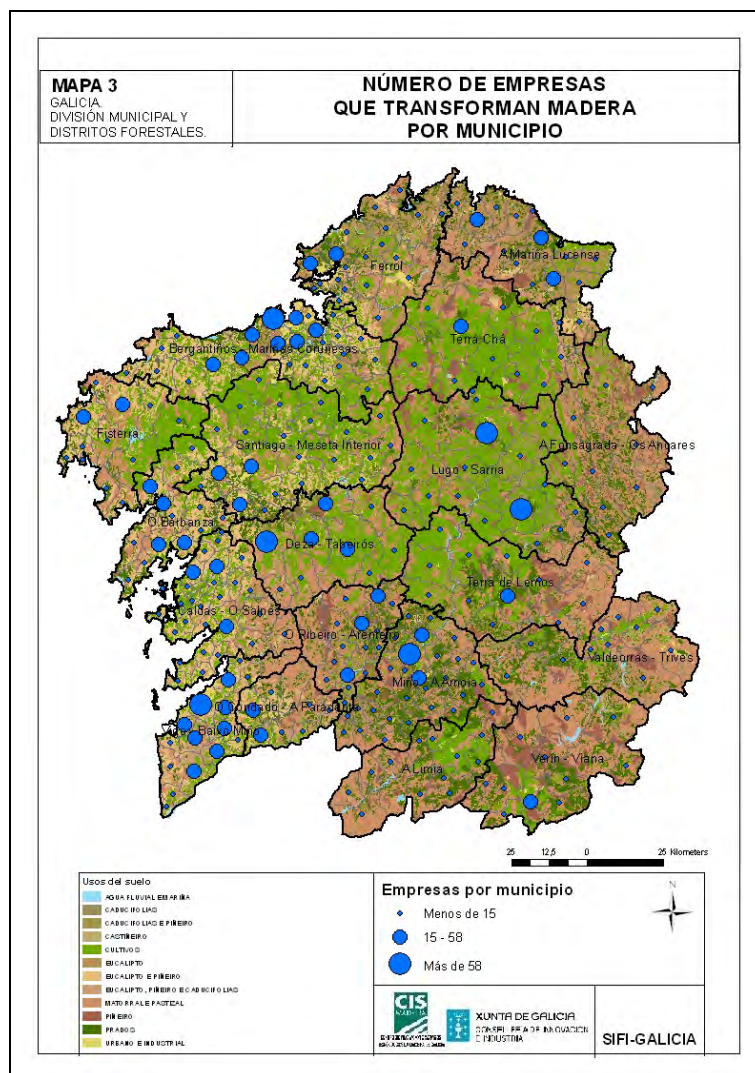
Además con los resultados de este trabajo se podrá conocer la situación y el grado de desequilibrio en el que se encuentran el sector forestal y la industria transformadora de la madera. Con lo que se podrán realizar diferentes actuaciones para potenciar ambas actividades para el desarrollo socioeconómico de Galicia.

Así a modo de ejemplo, con la constitución de este SIG por una parte tenemos todas las empresas (aserraderos, carpinterías, fábricas de muebles y productoras de pasta de papel), con sus características más importantes (número de empleados, facturación, localización, etc). Mientras que por otra banda, tenemos una base de datos

con todas las características del sector forestal de Galicia (superficie forestal por municipio, comarca y distrito forestal, predominio de cada una de las especies arbóreas, concentración de masas arbóreas, etc).

Con lo que tenemos la gran capacidad de gestión y toma de decisiones sobre la cadena monte-industria de Galicia, ya que podemos combinar de múltiples modos ambas bases, por ejemplo: volumen de empleo por sectores de la industria de la transformación de la madera según la presencia de masas arbóreas predominantes o volumen de importación de madera por municipio o representación de las áreas más representativas de Galicia en cuanto al número de empresas de la madera y recursos forestales. Estas representaciones, entre otras muchas, nos permitirán realizar una serie de estudios que mejorarán considerablemente el desequilibrio que existe en la actualidad en Galicia entre estos sectores, a pesar de la gran potencialidad socioeconómica y medioambiental que tienen estas dos actividades.

Destacar que la combinación de estas dos amplias bases de datos las volcaremos sobre una amplia base cartográfica de Galicia que pasa desde la escala parroquial a la de toda Galicia (municipio, comarca, provincia, etc). Por lo que podremos desarrollar actuaciones desde el ámbito más concreto al más general, desde el punto de vista territorial.



Mapa 3. Número de empresas que transforman madera por municipio (Fuente: elaboración propia a partir del Censo de Empresas da Madeira. CISMADERA (2002). Consellería de Innovación e Industria. Xunta de Galicia y el mapa de usos del suelo de Galicia. SITGA (2005). Consellería de Medio Rural. Xunta de Galicia)

CONCLUSIONES

Con la creación del SIFI-GALICIA, hasta el momento, contrastamos realidades como que Galicia se trata del “almacén” forestal de España. El pasado año en Galicia se cortó el 52,4% de la madera de España. Eso sí, principalmente en especies arbóreas denominadas de rápido crecimiento como el pino y el eucalipto. Que desde el punto de vista de la industria tiene su principal destino hacia la primera transformación por lo que se detecta, a pesar de las potencialidades del medio natural forestal gallego, una carencia de las maderas más demandadas por las empresas de la segunda transformación que a su vez son las que generan mayor valor añadido sobre la madera.

Por lo que se considera imprescindible el desarrollo de un plan de ordenación forestal coherente con las características del territorio y las demandas socioeconómicas de la población.

Por otro lado se comprobó que en Galicia están presentes todos los sectores y actividades que componen la industria transformadora de la madera, pero lo más significativo es que el 94% de los municipios de Galicia tiene alguna empresa que transforma madera. Además estas empresas, en muchos territorios, son la actividad económica que tiene mayor significación socioeconómica, que aun llega a adquirir más representatividad en territorios con un fuerte carácter rural.

Por todo esto, a pesar del grado de desarrollo que ya tienen el sector forestal y las empresas transformadoras de la madera se detecta que su relación es muy concreta y existen unas grandes potencialidades por aprovechar que con la realización del proyecto SIFI-GALICIA esperamos ayudar a solucionar.

BIBLIOGRAFÍA

Balboa López, X. (1990): *O monte en Galicia*. Xerais, Vigo. 359 pp.

Bermúdez Alvite, J.D. y Touza Vázquez, M.C. (2000): Las cifras del Tercer Inventario Forestal de Galicia y su incidencia en la Industria de Transformación de la Madera. *Revista del CIS-Madera*, 4 6-24.

Bouhier, A. (1979): *La Galice. Essai géographique d'analyse et d'interprétation d'un vieux complexe agrarie*, La Roche-sur-Yon, 2 tomos.

Consellería de Medio Ambiente (2001): *O monte galego en cifras*. Xunta de Galicia. Dirección Xeral de Montes e Medio Ambiente Natural. Santiago de Compostela. 226 pp.

Bermúdez Alvite, J.D. (2002): La industria del mueble. *Revista CIS-Madera*, 8: 7-26.

Cis-Madera (2000): *Censo de las empresas del sector de la madera de Galicia*. Consellería de Industria e Comercio. Consellería de Industria y Comercio, Santiago de Compostela.

Cis-Madera (2001): *Proceso del Cluster de la madera de Galicia: análisis-diagnóstico selección de factores críticos, estrategias y acciones de mejora*. Consellería de Industria y Comercio, Santiago de Compostela.

Miramontes Carballada, A. y Alonso Logroño, M^a. P. (2003): El territorio como factor de desarrollo local: La industria de la madera en A Estrada (Pontevedra). *Xeográfica. Revista de Xeografía, Territorio e Medio Ambiente*, 2: 111-134.

Miramontes Carballada, Á. (2006): *A innovación do sector do moble en Galicia: o caso do sistema productivo local da Estrada (Pontevedra)*. Fundación de Exposiciones y Congresos de A Estrada.,199 pp.

Prada Blanco, A. (1991): *Montes e industria. O circuito da madeira en Galicia*. Fundación Caixa Galicia, A Coruña, 302 pp.

Páginas web:

www.cismadeira.com ; www.xunta.es ; www.cesga.es ; www.usc.es/idega/

Monzón Roque, María del Rosario (2008): Utilización de técnicas de geovisualización virtual 3D para activar los procesos de transmisión de información, comprensión y participación ciudadana. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 325-339. ISBN: 978-84-96971-53-0.

UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS DE GEOVISUALIZACIÓN VIRTUAL 3D PARA ACTIVAR LOS PROCESOS DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN, COMPRENSIÓN Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA

Monzón Roque, María del Rosario

Técnico GIS del Ayuntamiento de Arona, Plaza del Cristo 1, Arona, Tenerife. chmonzon@arona.org, chmonzon@gmail.com

RESUMEN

Las técnicas de geovisualización virtual como medio de comunicación y difusión de información se empiezan a manifestar como herramientas novedosas para activar los procesos de transmisión de información, comprensión y participación ciudadana. Con la utilización de estas técnicas, se pretende dar a conocer proyectos de gran trascendencia para el medio ambiente y la calidad de vida de los ciudadanos, en un formato más asequible y comunicador. La difusión de los proyectos utilizando técnicas de participación digital permitirá a su vez activar los procesos de comprensión y participación ciudadana, utilizando canales propios de la web 2.0, los cuales servirán de mucha ayuda en la comprensión y retroalimentación de la información de los proyectos.

El desarrollo tecnológico del proyecto escogido, ‘Trazado del Futuro Tren del Sur de Tenerife a su paso por el municipio de Arona’, se efectúa mediante la utilización de una aplicación geocartográfica, Geoshow3D, la cual permite visualizar territorios en tres dimensiones dinámicamente, permitiendo la experiencia de conocer el ámbito espacial mediante métodos no inmersivos, con posibilidad de orientación y libre desplazamiento en todas las direcciones, y facilitando recursos para consultar información multimedia georreferenciada. El resultado final se apreciará en un simulador de vuelo hiperrealista, que se mueve a 25 frames por segundo en un PC normal.

Palabras Clave: geovisualización virtual 3D, participación ciudadana

ABSTRACT

Virtual geovisualization techniques, as a means of communication and diffusion of information, begin to manifest as innovative tools to activate the processes of transmission of information, understanding and citizen participation. The use of these techniques allows to make known projects of big transcendence for the environment and the quality of life of the citizens, in a more affordable and communicative format. The spreading of the projects using techniques of digital participation will allow to his time activate the processes of understanding and citizen participation, using the proper channels of the web 2.0, which will strongly help in the understanding and feedback of the information of the projects.

The technological development of the project chosen, ‘Trace of the Future south Train of Tenerife to his go through the municipality of Arona’, effect by means of the utilization of a geocartography application, Geoshow3D, wich will allow to explore territories in three dimensions dynamically, allowing the experience to know the spatial field by means of no-immersive methods, with the possibility of orientation and free movement in all directions, and facilitating resources to consult georeferenced multimedia information. The final result will de appreciated in a flight simulator, that move to 25 frames by second in a normal PC.

Key Words: geovisualization virtual 3D, citizen participation

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de entornos virtuales poseen el increíble potencial de ampliar el poder de los métodos de visualización de información, y llevadas al ámbito geográfico, es un desafío que se extiende a la visualización de la geoinformación.

Introducción a la geovisualización virtual

La geovisualización comienza a ser una disciplina emergente desde 1.995, cuando los mapas interactivos eran utilizados principalmente por científicos involucrados en la generación de análisis e hipótesis en ámbitos privados. Hoy en día, los mapas interactivos se usan ampliamente, tanto por investigadores como por educadores, a través de un amplio rango de medios y tecnologías accesibles, y en disciplinas y escenarios muy variados.

En este contexto, la comunidad cartográfica posee en la actualidad una clara necesidad de contribuir, y a la vez, aprender, del uso de los mapas interactivos y técnicas cartográficas diseñadas específicamente para análisis visual. Los mapas interactivos se están utilizando como *interfaces* espaciales flexibles, y se están aplicando a conjuntos de datos masivos, algunos de ellos recolectados en tiempo real por sensores avanzados. Estos datos se usan cada vez más para la construcción del conocimiento, soporte a la toma de decisiones, manejo de desastres, comunicación de información, educación y enseñanza (ICA Commission of Geovisualization)

Los mapas de geovisualización recurren a herramientas informáticas sofisticadas y elegantes que interactúan con los datos implícitos en la representación. Son instrumentos que incitan a la exploración de la naturaleza de los datos espaciales disponibles. Como tales se utilizan para estimular la percepción (visual) de los modelos geoespaciales, de las relaciones y tendencias, y se están usando cada vez más en la elaboración científica GIS.

La mayor parte de la información que la sociedad moderna tiene que manejar, envuelve una clara componente geográfica o espacial. A menudo, muchos de estos datos poseen una componente temporal. De ahí que los datos espaciales posean una estructura compleja, con dimensión espacio-temporal y de atributos temáticos, siendo éste el gran desafío de la geovisualización.

Definiciones

Geovisualización: El término ‘*geovisualización*’ proviene de la combinación de las palabras *visualización geográfica*. Se define como ‘*técnicas y herramientas diseñadas para visualizar interactivamente fenómenos geográficos*’.

Virtual: Según el diccionario de la R.A.E. el término ‘*virtual*’ se define, en un contexto físico, como ‘*aquello que tiene existencia aparente y no real*’, y en su definición como adjetivo, como ‘*aquello que tiene virtud para producir un efecto, aunque no lo produce de presente, frecuentemente en oposición a efectivo o real*’.

Realidad virtual: La definición de *geovisualización virtual* está estrechamente ligada a la definición de *realidad virtual*: ‘*Representación de escenas o imágenes de objetos producida por un sistema informático, que da la sensación de su existencia real*’.

Existen dos enfoques para su representación: las técnicas no inmersivas frente a las inmersivas.

Las técnicas no inmersivas de realidad virtual ofrecen un nuevo mundo a través de una ventana de escritorio. Este enfoque presenta algunas ventajas sobre el enfoque inmersivo, como son el bajo coste, y la fácil y rápida aceptación de los usuarios.

Las técnicas inmersivas sumergen al espectador en el escenario virtual mediante dispositivos como cascos o guantes, haciendo que el espectador se sienta dentro de la escena.

Los dispositivos inmersivos son de alto coste, y generalmente el usuario prefiere manipular el ambiente virtual por medio de dispositivos familiares, como son el teclado y el ratón, que por medio de cascos pesados o guantes (ICA Commission of Geovisualization)

Geovisualización virtual: La *geovisualización virtual* establece una nueva forma de relación entre el uso de las coordenadas de espacio y de tiempo, supera las barreras espacio-temporales, y configura un entorno en el que la información y la comunicación se nos muestran accesibles desde perspectivas hasta ahora desconocidas, al menos en cuanto a su volumen y posibilidades (Riedijk et al, 2006).

Los métodos de geovisualización virtual se ligan a un ambiente tridimensional creado por un ordenador, y se vale de medios como el que actualmente nos ofrece *Internet*, en el cual podemos interactuar en tiempo real con diferentes personas en espacios y ambientes que en realidad no existen, sin la necesidad de dispositivos adicionales al ordenador.

La geovisualización virtual nos ayuda a estimular el pensamiento visual de información geoespacial.

La figura 1 pretende ilustrar la relación entre los mundos virtuales y la información geográfica. Según un estudio de la Universidad de *Aalborg*, los mundos virtuales y la información geográfica son dos disciplinas científicas separadas, mientras que la realidad virtual y la geovisualización comparten y se benefician de los mismos conceptos. Se observa en la imagen que la línea que las separa es intermitente o difuminada. El mundo imaginado de los entornos virtuales a menudo describe y contiene mundos reales. Asimismo, la geovisualización 3D contiene mundos reales, donde ocurren escenas de mundos imaginados.

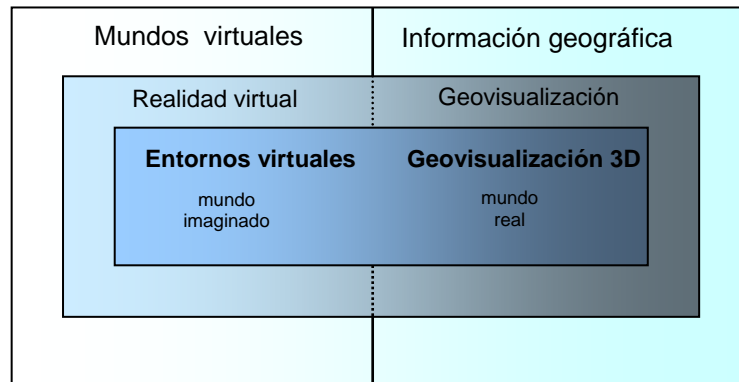


Figura 1. Relación entre los mundos virtuales y la información geográfica (Aalborg University, 2007).

ANTECEDENTES DE PROYECTOS EN LA ISLA DE TENERIFE

Las Islas Canarias, y en concreto la isla de Tenerife, está experimentando durante su historia reciente el desarrollo de proyectos que pretenden mejorar la calidad de vida de la ciudadanía, pero cuya ejecución está ocasionando una fuerte controversia social, debido a las posibles consecuencias del impacto sobre el entorno, tanto medioambientales como socioeconómicas. Algunos de estos proyectos son:

- El sistema tranviario del Área Metropolitana.
- El puerto de Granadilla de Abona.
- El nuevo tendido de la línea de alta tensión del Sur.
- La operación singular estructurante Cabo Blanco – Buzanada.
- El cierre del anillo insular.
- La plataforma logística del Sur.

Todas estas actuaciones, y algunas otras, tienen en común una serie de elementos: un alcance insular, es decir, que supera claramente el ámbito local, un largo y controvertido proceso de debate y redacción de los proyectos definitivos, y algo muy relevante: la manifiesta dificultad de la ciudadanía para interpretar el propósito y las consecuencias de la ejecución de dichas actuaciones.

Por ello, parece más necesario que nunca fomentar la participación ciudadana y, así, promover la integración de todos los esfuerzos necesarios para acometer actuaciones que satisfagan las expectativas mayoritarias de los ciudadanos.

Ahora bien, cabe preguntarse si no es posible mejorar significativamente los instrumentos usados para informar públicamente, si no es posible crear herramientas más accesibles a los ciudadanos y de menor calado técnico, sin perder rigor. Y hasta qué punto ello no contribuiría a fomentar la participación y el entendimiento de los ciudadanos en estos y otros proyectos trascendentales para Canarias.

Para dar a conocer mejor uno de estos proyectos, el trazado de la infraestructura del Tren del Sur a su paso por el municipio de Arona, se ha desarrollado un escenario de geovisualización virtual basado en *Geoshow3D*.

Por qué un escenario de geovisualización en 3D

Las razones por las que se utiliza una herramienta de modelado 3D se basan en los siguientes aspectos (Aalborg University 2007):

Presentación: los modelos 3D son más sencillos de asimilar e interpretar, y por ello son más recomendables de cara a comunicar ideas y visiones de los proyectos.

Exploración: la visión humana está hecha para interpretar rápidamente una gran cantidad de contenidos y datos en un escenario. Existen relaciones en la escena que el cerebro humano percibe, a menudo sin ser consciente de ello. Es posible, por ello, comunicar grandes cantidades de información.

Inmersión: el usuario puede ser manipulado a través de la interfaz para ser introducido en la escena, dotándolo de la sensación de estar inmerso en un mundo físico.

Documentación: mucha geoinformación contiene información de altura manejada solamente como atributos en entornos 2D. En 3D, se puede realizar una mejor documentación del escenario.

Simulaciones dinámicas: los escenarios 3D ofrecen simulaciones más exactas y realistas que los de dos dimensiones.

Por qué geovisualizar virtualmente el trazado del Tren del Sur

El inicio del proyecto del Tren del Sur data del año 2.000. El Cabildo de Tenerife encarga a una empresa privada un estudio de viabilidad del futuro trazado de la línea ferroviaria. Desde el citado año hasta la actualidad, el estudio del proyecto ha pasado por distintas fases, encontrándose en la actualidad en fase de aprobación inicial.

Toda la información oficial publicada del proyecto se encuentra accesible vía *Internet* en diversos documentos en formato *PDF* (figura 3).

- No existe en la actualidad ningún otro formato que explique el proyecto a la opinión pública.
- No existe en *Internet* ninguna *web* con formatos multimedia que acerquen el futuro proyecto a la ciudadanía.



Figura 2. Trazado del tren del sur



Figura 3. Detalle del formato de la información del proyecto ‘Tren del Sur’ en Internet (Servicio de Planes Insulares del Cabildo de Tenerife).

OBJETIVOS DEL PROYECTO DE GEOVISUALIZACIÓN

Los planteamientos anteriores pretenden justificar el desarrollo de un proyecto de geovisualización como el que nos ocupa. Se hace precisa una herramienta que acerque el proyecto del *Tren del Sur* a la ciudadanía y explique, de forma precisa, el trazado de la futura línea ferroviaria, evitando el vacío informativo de anteriores proyectos en la isla.

Haciendo uso de todas las posibilidades que ofrecen las técnicas de geovisualización virtual, y teniendo presente el contexto del proyecto, se detallan los objetivos:

- Ayudar en la interpretación y comprensión del proyecto ‘*Plan Territorial Especial de Ordenación de Infraestructuras del Tren del Sur de Tenerife*’ mediante una herramienta de modelización del espacio en 3D, creando un escenario virtual que recree el trazado de la línea ferroviaria a su paso por el municipio de Arona.
- Enriquecer la dimensión del proyecto con imágenes virtuales que acerquen la realidad futura a la opinión pública, potenciando el intercambio de información espacial mediante geovisualización.
- Fomentar la participación ciudadana en un proyecto que afectará a toda la ciudadanía.
- Experimentar si los métodos de geovisualización son efectivos para la construcción del conocimiento que motive el interés y la aportación de ideas en proyectos de gran trascendencia para el medio ambiente y la calidad de vida de los ciudadanos.

Se pretende que estos objetivos puedan ser cumplidos explotando las virtudes principales de la geovisualización virtual:

Exactitud: el escenario 3D por el cual se navega es la imagen georreferenciada del territorio real.

Comunicación: se tiene acceso a una cantidad ingente de información del escenario tridimensional, con atributos, y con posibilidad de incorporar archivos multimedia georreferenciados.

Facilidad de navegación: la navegación es intuitiva, y no precisa de artilugios específicos: el teclado y el ratón son los instrumentos de navegación, ambos universalmente conocidos.

DATOS ESPACIALES DEL PROYECTO

Las fuentes de datos a utilizar en el proyecto se describen a continuación:

Modelo digital del terreno (MDT). El MDT lo forma una estructura numérica que representa, mediante una matriz, la distribución de la altitud de una determinada área. Ha sido obtenido a través de una cartografía a escala 1:5.000 del año 1996. Por ello, tanto su error altimétrico como su sistema de referencia, elipsoide y proyección derivan de la cartografía utilizada. Su resolución es de 10x10m.

El sistema de referencia de la cartografía a escala 1:5.000 de la que parte el MDT es REGCAN95 (abril95), elipsoide WGS84 y proyección UTM 28N. El archivo está en formato ASCII.

Cartografía 5.000. Se ha obtenido mediante restitución digital de un vuelo, a escala de vuelo 1:18.000, que cumple el modelo de datos 2 definido por la empresa Cartográfica de Canarias (Grafcan). El error planimétrico es de 1 m. y el error altimétrico es de 1,25 m. Formato : DGN de MicroStation. Sistema de Referencia: Regcan95 (versión 2001). Elipsoide WGS84, y proyección UTM 28N.

Ortofotos. El último formato de ortofoto producido por Grafcan, denominado *OrtoExpress*, surge como un nuevo producto que simplifica el proceso productivo, permitiendo obtener un producto de ortofoto en plazos de tiempo muy reducidos. Las características principales de la *OrtoExpress* son las siguientes:

Vuelo a escala (1:25.000-1:30.000) o GDS=40-45 cm.

Ortorectificación usando orientaciones externas directas del vuelo (GPS+IMU).

Corrección cromática mediante procesos semiautomáticos.

Resolución de la imagen de salida: 50 cm./píxel.

Precisión métrica: error < 3 metros.

Tiempo de producción: < 1 mes para toda la isla.

IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE GEOVISUALIZACIÓN CON GEOSHOW3D PRO

El desarrollo tecnológico del proyecto se efectúa mediante la utilización de una aplicación geocartográfica que permite visualizar territorios en tres dimensiones dinámicamente, permitiendo la experiencia de conocer el ámbito espacial mediante métodos no inmersivos, con posibilidad de orientación y libre desplazamiento en todas las direcciones, y facilitando recursos para consultar información multimedia georreferenciada.

El resultado final se apreciará en un simulador de vuelo hiperrealista, que se mueve a 25 frames por segundo en un PC normal.

Creación del Escenario mediante la configuración de un proyecto

El escenario lo formará el terreno con una serie de atributos añadidos. El terreno recreará virtualmente la superficie del territorio mediante un modelo digital de elevación del terreno (MDT) cubierto por una o más capas. El primer paso es configurar un proyecto, cuya referencia fija de toda la información se tomará tras la importación del MDT.

Importación del MDT y de las ortofotos

El terreno 3D lo formará una malla poligonal de elevación definida por un único MDT que dará forma a las capas ráster para representar la orografía. Su resolución, medida en metros, indica el tamaño de la retícula regular de cuyos vértices conocemos sus tres coordenadas (x,y,z).

Tras la carga del MDT, se procede a la carga de las ortofotos que corresponden al territorio a representar. El MDT quedará cubierto por varias imágenes (datos ráster) en forma de capas.

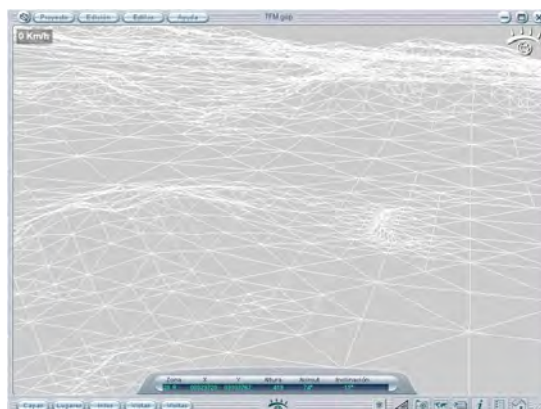


Figura 4. MDT del municipio de Arona, importado en Geoshow3D.

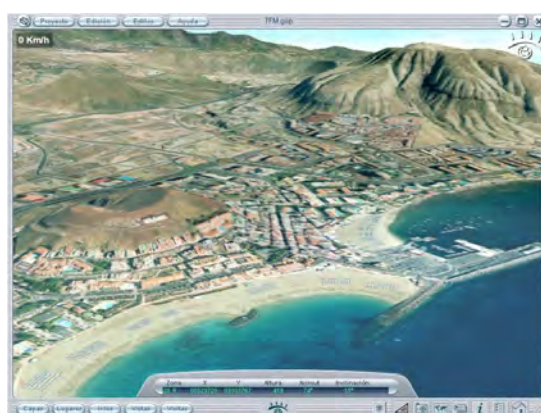


Figura 5. Ortofotografía sobre el MDT del municipio de Arona.

El trazado de la línea ferroviaria

La capa vectorial que define el trazado de la futura línea de tren se importa manteniendo el número original de puntos, y escogiendo el modo de ensamblaje '3D real' para que la cota Z original del vector no sea reemplazada por la del MDT. La información relativa al trazado de la futura línea de tren presenta el reto de transmitir los tres tipos de información que diferencian el mismo:

- Un tramo proyectado a la misma cota que el terreno: trazado a nivel.
- Un tramo cuyo trazado es elevado con respecto a la rasante del terreno: sobre viaducto.
- Un tramo bajo rasante, mediante túnel perforado (con tuneladora) y falso túnel (túnel a cielo abierto): subterráneo.

Se crean tres grupos de capas vectoriales, y se asocia a cada grupo la capa lineal que le corresponde. Para definir un estilo a cada tramo de línea, se definen tres tipos distintos de materiales. A cada material se le asocia una textura personalizada (creada previamente con un programa de dibujo), y un color. Se crean tres estilos de línea, asociando a cada uno su correspondiente estilo de visibilidad y materiales. Para asociar estos estilos a cada capa vectorial, se asocia el estilo de cada capa en el atributo *Lines* del menú de capas vectoriales. Así, cada tramo de línea poseerá su estilo de visibilidad en el escenario, y será fácil distinguir de qué tipo de tramo se trata, tal y como se aprecia en las figuras 6, 7 y 8:

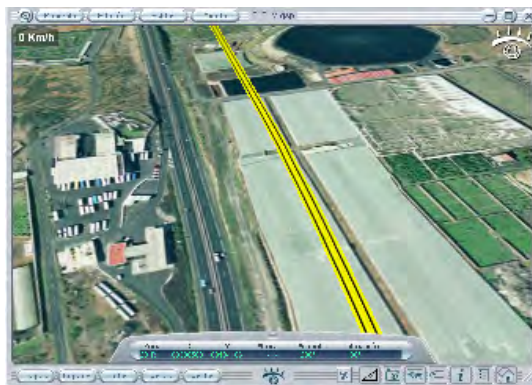


Figura 6. Vía de tren a nivel.

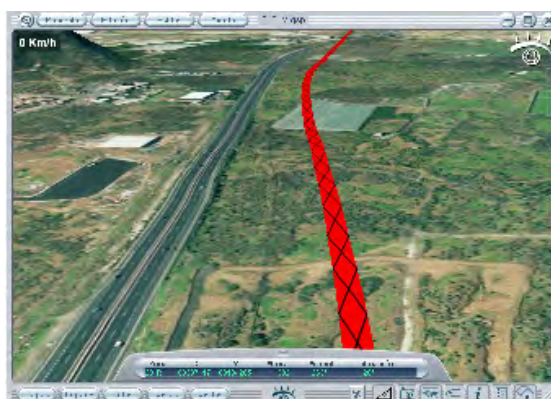


Figura 7. Vía de tren sobre viaducto.

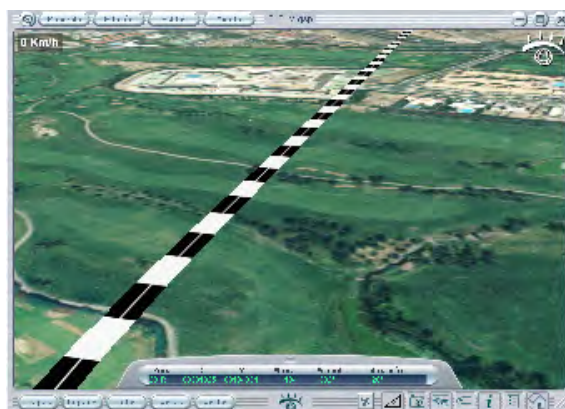


Figura 8. Vía de tren soterrada.

DISEÑO DEL RESTO DEL ESCENARIO VIRTUAL

La estrategia de diseño del escenario está íntimamente relacionada con las posibilidades de comunicación de la información del software utilizado, y con la propia información que se desea transmitir.

Dado que el software de geovisualización presenta múltiples capacidades de comunicación de información geográfica en un entorno 3D, con posibilidad de añadir información multimedia georreferenciada, se hará uso de todas estas características para explotar la capacidad de mostrar información.

Para documentar exactamente por dónde pasará la futura línea de tren, se pretende enriquecer el escenario realizando un inventario exhaustivo de los siguientes contenidos:

- Accidentes geográficos: se catalogan los nombres de todos los accidentes geográficos del trayecto, o próximos a él: montañas, laderas, barrancos, fajas, etc.
- Toponimia: se realiza un inventario de toda la toponimia afectada por el trazado de la línea de tren, y de aquella que, sin ser directamente afectada, amplíe el conocimiento de la zona. La toponimia se extrae de la cartografía 1:5.000.
- Calles y vías: se catalogan todos los nombres de las vías y calles afectadas por el trazado, y las calles próximas al mismo.
- Construcciones: se catalogan todos los edificios, colegios, hoteles y centros comerciales de la zona urbana afectada directa o indirectamente por el trazado.
- Misceláneos: se catalogan todos aquellos lugares de interés conocidos por los ciudadanos, y que aportan valor informativo al escenario: gasolineras, rotondas, karting.

A partir de este punto, se hace uso de dos recursos que ofrece el programa para mostrar información: categorías de lugares e infos.

Categorías de lugares

La estructuración de todos los contenidos anteriores se realiza haciendo uso de las capacidades de clasificación en categorías de lugares, y lugares. Cada categoría de lugar presentará una apariencia personalizada:

- *Etiqueta*: altitud, y valores concretos de apariencia: altura máxima y distancia máxima.
- *Texto personalizado*: tipo, color y tamaño de letra.

Con esta definición de lugares, será muy intuitivo distinguir en el escenario cada lugar: el nombre de una calle, el nombre de un edificio, el nombre de una montaña, etcétera, pues cada categoría de lugar posee una imagen personalizada, tal y como se aprecia en la figura 9.

Una vez incorporados todos los lugares en su correspondiente categoría, será muy sencillo ir a un lugar en concreto del escenario, haciendo una búsqueda en la jerarquía de lugares inventariados, mediante el menú *Lugares*. El botón '*Ir a*' será el aliado perfecto para desplazarnos a un lugar concreto del escenario, mediante un vuelo virtual tridimensional.

Infos

El siguiente recurso que nos ofrece el software se denomina *Info*. Se trata de un modelo 3D ubicado sobre el terreno para mostrar al usuario final información de interés. Dado que es posible definir categorías de *infos*, se define una única categoría, denominada 'Línea de Tren', que mostrará información relacionada con el propio trazado de la línea ferroviaria. Los *infos* permitirán al usuario situarse en aquellos lugares en los cuales el trazado debe transmitir alguna información de interés. Su localización en el escenario es muy llamativa, pues se muestra un icono 3D giratorio, reclamando al usuario hacer clic sobre él para poder mostrar información sensible del proyecto. La posibilidad de asociar a los *infos* información multimedia, del tipo foto, sonido, video o documento web (html / url), añade aún más valor informativo al aportado ya por el propio *info*. El *info* de la figura 10 lleva asociado un archivo en formato *JPG*, que pretende ilustrar una estación virtual de tren subterránea. Dicha imagen se abrirá cuando el usuario haga *clic* sobre el icono piramidal.



Figura 9. Muestra de algunas etiquetas personalizadas de las distintas categorías de lugares.

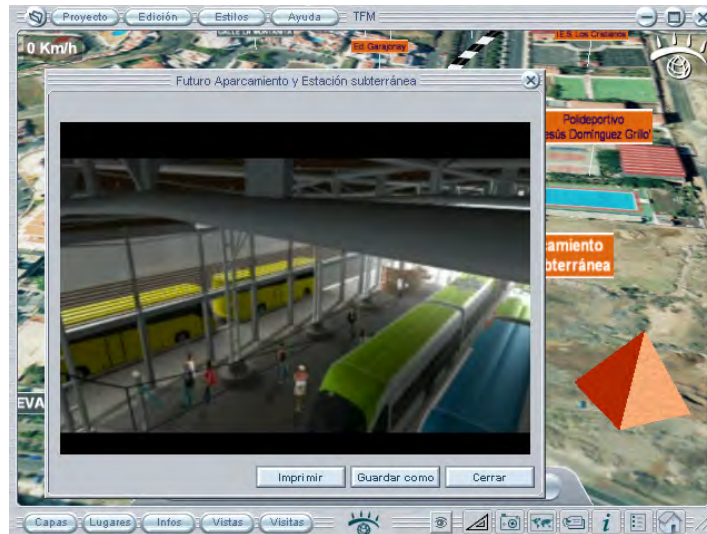


Figura 10. Recurso multimedia asociado a un info.

VUELOS VIRTUALES Y GENERACIÓN DEL ESCENARIO FINAL

Para poder realizar recorridos virtuales por el escenario, hacemos uso de dos recursos que nos permiten programar vuelos virtuales: las vistas y las visitas guiadas.

Vistas

La definición de las vistas permitirá al usuario navegar a ciertos puntos de interés mediante un vuelo virtual. Cada vista vendrá definida por su nombre, coordenadas X e Y, altura, y parámetros de cabeceo, alabeo y rumbo.

La definición de todos estos parámetros nos permite mostrar las vistas de interés definiendo la manera estratégica en la que se desea que sean visualizadas, esto es, no dejando que sea el propio programa quien decida su visualización. Cada vista que se ha definido ayuda al espectador a situarse en muchos de los lugares por donde el territorio será atravesado por la línea de tren. Partiendo de la vista inicial, se crean todas las vistas, con sus parámetros específicos de altura, acimut y elevación, y se ordenan en sentido norte-sur.

Cada vista que el usuario desee visualizar estará siempre orientada hacia la línea de tren: de esta manera, se aprecia cómo afecta el trazado al lugar escogido para visualizar.

Las vistas son un recurso de vital importancia, no solamente porque facilitan el vuelo a lugares clave del escenario, sino además, porque a partir de una correcta definición y catalogación de las mismas, podemos generar las visitas guiadas que servirán de vídeo del escenario.

Visitas guiadas

Este es otro de los recursos estratégicos que podemos definir para transmitir información del escenario: la posibilidad de realizar un vuelo virtual pre-programado a distintos recorridos del escenario, estratégicamente escogidos para mostrar del proyecto toda aquella información que se desee transmitir mediante un vuelo a medida, al cual se le puede incorporar imágenes, música y voz en *off*.

La definición de una visita guiada permite parametrizar aspectos como los puntos de transición y el tipo de interpolación (*spline*) que se aplicará para construir el camino de la cámara a partir de los puntos de control definidos.

Para geovisualizar virtualmente el trazado del tren del sur, se han diseñado dos visitas guiadas:

- Vista aérea del todo el trazado: esta visita virtual se diseña para aproximar la información del trazado del tren sin grandes niveles de detalle. Con esta visita guiada, el espectador puede tener una idea clara del trayecto del tren, los distintos tipos de vías de tren (a nivel, viaducto, soterrada) que afectarán a los distintos pueblos o barrios, y el comienzo y fin del trayecto en el municipio de Arona. Esta visita guiada se programa como un recurso informativo globalizador del proyecto.
- Navegación 3D de todo el trazado en detalle: este vuelo virtual permite conocer en detalle todos los lugares afectados por el trazado del tren. A medida que la visita guiada transcurre, irán apareciendo todos los lugares y las *infos* catalogadas, con un nivel de detalle cuidadosamente diseñado para enriquecer la información a transmitir del proyecto.

Ambas visitas guiadas han sido programadas para disponer de mayor flexibilidad en la definición del movimiento, mediante la parametrización de las tangentes basadas en los parámetros de tensión, continuidad y *bias* o desviación. Dichos parámetros se han ajustado para toda la visita guiada en su conjunto: de esta manera, se consigue mayor suavidad de movimiento en el vuelo.

También se han personalizado los valores de aceleración y desaceleración del vuelo, aplicando un factor de corrección de la velocidad a ciertos puntos concretos. El resultado de estos ajustes posibilita visualizar los vuelos de manera equilibrada, tanto en el desplazamiento como en la velocidad.

Animación

La programación de una visita guiada ofrece la posibilidad de generar un vídeo, con sonido de fondo, que muestre el escenario diseñado. Este recurso amplía las posibilidades de difusión de la información, mediante:

- la grabación del vídeo resultante en CDs/DVDs,
- la publicación del mismo en plataformas *on-line* expertas en difusión de vídeos (del tipo 'Youtube' o 'MySpace').

Generación y publicación del escenario final

La finalización de la edición de todo el proyecto de geovisualización virtual culmina con la generación del escenario. La opción de Generar escenario procesa toda la información contenida en el proyecto, y la almacena en un solo archivo del tipo *.gs. La información multimedia asociada al proyecto se almacena al mismo nivel que el archivo anterior, en una carpeta denominada *_media.

Para la generación del escenario se ha ajustado el parámetro de optimización para *Internet*, para que el nivel de compresión que se aplique al escenario sea el adecuado para su óptima visualización por la red.

DIFUSIÓN Y MEDIOS DE PARTICIPACIÓN

La creación de mapas que impulsan el uso de técnicas virtuales e interactivas requieren que la geovisualización sea de amplio alcance.

Difusión

Una vez se han generado todos los tipos de archivos visuales del proyecto (escenario, video), será el momento de preparar la difusión del mismo, haciendo uso de todas las posibilidades que brindan los medios de difusión digitales y multimedia:

- Grabación del vídeo en CDs/DVDs, y difusión de los mismos en puntos estratégicos de gran afluencia de ciudadanos.

- Publicación del vídeo en plataformas *web* especializadas en difusión de vídeos.

Publicación del escenario en:

- El portal web del Ayuntamiento de Arona.
- En puntos de información multimedia (*PIMs*), situados en las oficinas de atención ciudadana del municipio.
- En a intranet corporativa de los organismos y empresas involucrados.

Medios de Participación

Las posibilidades que nos ofrecen las técnicas de participación digital, unidas a las tradicionales encuestas en papel, permitirán a la ciudadanía manifestar su visión y opinión de los proyectos territoriales.

La puesta en marcha de medios de participación tales como encuestas (en papel, por internet, vía *sms*), foros de discusión, y *blogs*, permitirán dejar un comentario u opinión:

- en el portal municipal:
 - en la página donde se muestra el escenario.
 - en el buzón de quejas y sugerencias.
 - en la plataforma web de publicación del vídeo.
- Por escrito, en cualquier oficina de información ciudadana.
- En un *blog* creado al efecto, como un espacio que propicie el diálogo, en donde todos los actores involucrados y los ciudadanos tengan la posibilidad de intercambiar conocimientos sobre el proyecto.

La puesta en marcha de todos estos medios de participación permitirán que el proyecto del Tren del Sur se retroalimente de conocimiento, posibilitando posibles mejoras del mismo.

Se muestra en el anexo 1 un resumen gráfico de la metodología a seguir en procesos de difusión y participación utilizando técnicas de geovisualización virtual aplicada a proyectos territoriales.

CONCLUSIONES

La geovisualización virtual como medio de comunicación y difusión de información se empieza a manifestar como una herramienta novedosa para activar los procesos de transmisión de información, comprensión y participación ciudadana.

Es una disciplina reciente con límites borrosos de actuación, dado que trata de la exploración visual, el análisis, la síntesis y la presentación de datos que contienen información geográfica, integrando métodos de disciplinas, entre las que se incluye la cartografía, con aquéllos otros métodos de disciplinas que se ocupan de la visualización científica, el análisis de imágenes, la visualización de la información, el análisis de datos exploratorios y la ciencia GIS.

Dado que la geovisualización virtual puede también considerarse como una nueva rama de la cartografía, el escenario resultante hará que el mapa tenga cada vez más un carácter interdisciplinar. El mapa moderno debe considerarse como un interfaz de datos geoespaciales flexible, utilizable y cuidadosamente diseñado. Cuando están diseñados con la perspectiva del usuario, estos instrumentos pueden ser de mucha utilidad para el acceso a la información, y pueden actuar como un mediador activo entre colaboradores que trabajan con información geoespacial.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer la colaboración de los siguientes organismos y empresas: Ayuntamiento de Arona, Cartográfica de Canarias (Grafcan), Cabildo de Tenerife, Metropolitano de Tenerife, Geovirtual SL, UNIGIS Girona.

REFERENCIAS

Aalborg University (2007): *NordGISci summerschool*:

http://vbn.aau.dk/fbspretrieve/13711510/NordGISci_2007_web.pdf

Böhlen, M.H. (2005): E-government: Towards electronic democracy. *International conference TCGOV 2005*, Bolzano, Italy, March 2-4. Ed. Springer, Berlin.

GeoVirtual S.L.: *Geoshow3D Pro versión 2.8, manual del usuario*.

ICA Commission of Geovisualization: <http://geoanalytics.net/ica/>

Instituto Canario de Estadística:

http://www.gobiernodecanarias.org/istac/estadisticas/php/saltarA.php?mid=/istac/notasdeprensa/np_20061124_EvolucionHistoricaPoblacion.pdf

Martínez-Solanas, G.E. (1997): *Gobierno de un pueblo: opción para un nuevo siglo*. Ediciones Universal, Miami, EE.UU.

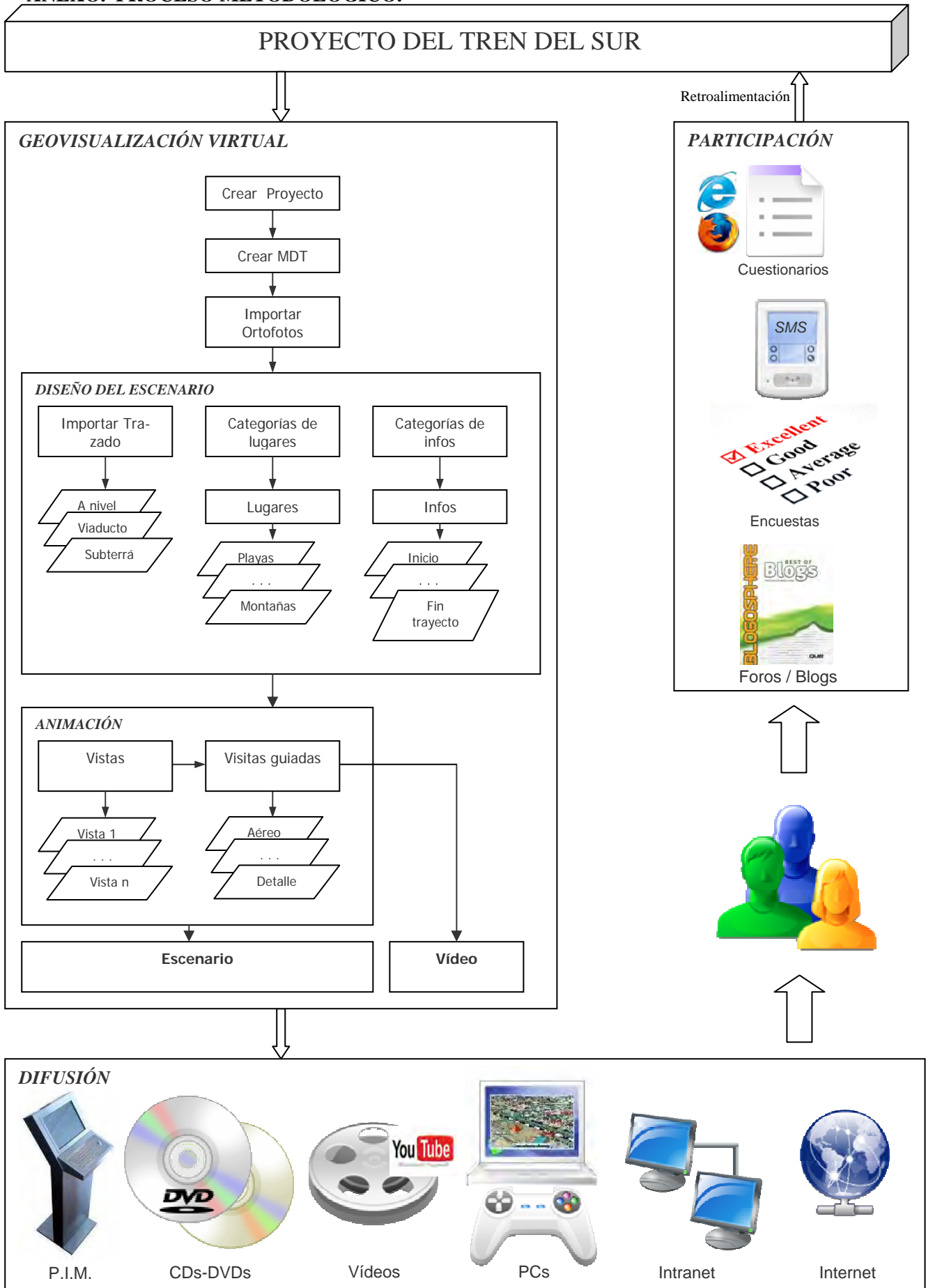
Participatory Spatial Planning in Europe: www.pspe.net

Riedijk, A. van; Velde, R.J. van de; Pleizier, I.D.; Hoogerwerf, T.C.; Lammeren, R.J.A. van; Baltussen, W.H.M.; Jansen, J.; Wynia, P.; Uum, J.H. van y Wilgenburg, R. van (2006): *Geo-visualizations for interactive spatial planning and decision-making: From Wow to Impact*. Vrije Universiteit, Ámsterdam, 64 pp.: <http://ivm10.ivm.vu.nl/spinlab/extra/interreg/documents/Defstudie.pdf>

Servicio Técnico de Planes Insulares del Cabildo de Tenerife:

<http://www.tenerife.es/planes/PTEOTrenSur/PTEOTrenSurindex.htm>

ANEXO. PROCESO METODOLÓGICO.



DIFUSIÓN


 P.I.M.


 CDs-DVDs


 Vídeos


 PCs


 Intranet


 Internet

Moreno Jiménez, Antonio y Vinuesa Angulo, Julio (2008): Evaluación de los desequilibrios y reequilibrios intrametropolitanos. Metodología aplicada al caso de Madrid. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 340-354. ISBN: 978-84-96971-53-0.

EVALUACIÓN DE LOS DESEQUILIBRIOS Y REEQUILIBRIOS INTRAMETROPOLITANOS. METODOLOGÍA APLICADA AL CASO DE MADRID

Moreno Jiménez, Antonio y Vinuesa Angulo, Julio

Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid. antonio.moreno@uam.es, julio.vinuesa@uam.es

RESUMEN

El diagnóstico y valoración de las estructuras territoriales a la luz de ciertos principios considerados socialmente relevantes y compartidos en nuestro horizonte histórico tales como cohesión-integración, eficiencia espacial y competitividad, sostenibilidad, calidad de vida y bienestar, equidad territorial, justicia ambiental, constituye un frente de indagación cuyos resultados poseen notorio interés para los ciudadanos y para los responsables políticos, puesto que permiten clarificar, primero, en qué medida la organización del territorio se ajusta a dichos principios y, luego, orientar la formulación de políticas correctoras. En la presente comunicación se presenta el protocolo de análisis, en gran medida basado en técnicas estadísticas y SIG, usado en una amplia investigación evaluando la organización espacial y los cambios recientes de la metrópoli madrileña. Como ilustración algunos de los resultados son brevemente comentados.

Palabras clave: desequilibrio espacial, reequilibrio intraurbano, diagnóstico urbano, principios de evaluación territorial, análisis estadístico

ABSTRACT

Assessment of spatial structures considering some socially relevant principles shared nowadays, such as cohesion-integration, spatial efficiency and competitiveness, sustainability, quality of life and well-being, territorial equity or environmental justice is a research field whose results are outstanding interest for citizens and political authorities, because they enable, firstly, to elucidate the extent spatial organization fits to these principles, and then to inspire correcting policies. In this paper it is introduced the method, mainly based on statistical techniques and GIS, used in a large research assessing the spatial organization and recent changes of the Madrid metropolis. For illustration purposes some results are shortly commented.

Keywords: spatial disequilibrium, intra-urban re-equilibrium, urban monitoring, territorial assessment principles, statistical techniques

INTRODUCCIÓN

La preocupación por los desequilibrios espaciales, como es sabido, cuenta con una larga tradición investigadora, lo que se deriva del interés colectivo por abordar, paliar o solventar, de la manera mejor y más efectiva, problemas de la organización del espacio. Cabe recordar que los binomios equilibrio-desequilibrio o igualdad-desigualdad que se inscriben sobre el territorio son la consecuencia de dinámicas muy heterogéneas, en las que concurren factores varios, unos de índole físico-natural, otros de origen antrópico, y agentes (entidades públicas, empresas, organizaciones variadas, ciudadanos individuales, etc.) operando con metas diversas, a veces contrapuestas. Como resultado de ellas se conforman estructuras espaciales, más o menos estables o perdurables, que poseen una trascendencia e implicaciones (negativas o positivas) importantes. Ciertos procesos, en su origen y decurso, implican “per se” la diferenciación espacial, en tanto que otros pueden mostrar una mayor propensión a reducir las desigualdades y a uniformar el territorio. Cuando tales desigualdades

suponen desajustes indeseables o graves brota de forma natural la necesidad de analizarlos, diagnosticarlos, prevenirlos o corregirlos mediante políticas y planes.

Los desequilibrios y desigualdades emergen a diferentes escalas y ello ha impulsado históricamente análisis de distinto alcance (vid. por ejemplo, Coates, Johnston y Knox, 1977; Smith, 1980; Badcock, 1984; Naciones Unidas, 1998; European Communities, 2005; Pedregal, Torres y Zoido, 2006; VVAA, 2007). Este trabajo surge precisamente de esa demanda de conocer los desequilibrios a nivel intraurbano en Madrid, con la mira puesta en la obtención de resultados valorables en términos de principios relevantes en la organización y desarrollo urbano-territorial tales como la eficiencia, la equidad, la sostenibilidad, la calidad de vida, etc. Se trata, por tanto, de facilitar la formación de juicio por parte de los agentes sociales acerca de cómo está estructurada espacialmente la metrópoli y cuál es el rumbo que muestran los cambios observados a lo largo de un período determinado. ¿Se progresa hacia el reequilibrio? ¿se ahondan las divergencias? ¿se avanza positivamente hacia cotas más elevadas de principios deseables? Parece obvio que las respuestas, en tanto sean diáfanas, abren las puertas para inspirar la intervención por parte de los agentes responsables de la organización y ordenación de la ciudad (e. g. Wheeler, 2004).

Tal objetivo se complementa con otro de índole metodológica: formalizar y experimentar un protocolo efectivo de análisis, orientado al diagnóstico y valoración de la situación y dinámica de los desequilibrios-reequilibrios intrametropolitanos. Los contenidos que aquí se presentan buscan, en ese sentido, evidenciar su interés y utilidad, difundiendo las potencialidades y algunos resultados ejemplares de dicho protocolo para la evaluación y diagnóstico urbano.

En el apartado siguiente se resume la metodología diseñada y aplicada, la cual en parte se ilustra en el apartado 3 con algunos resultados parciales del amplio estudio elaborado sobre Madrid.

METODOLOGÍA PARA EL DIAGNÓSTICO ESPACIO-TEMPORAL DE LOS DESEQUILIBRIOS INTRAURBANOS

El objetivo de aprehender, si no de forma exhaustiva sí al menos muy amplia, los desequilibrios-equilibrios-reequilibrios espaciales, y en nuestro caso a escala urbana, implica un desafío metodológico de primera magnitud. Sobre la base de la extensa literatura sobre el tema que, como es bien sabido, trasciende escalas (desde la local a la mundial), ámbitos geográficos (continentes, países y lugares variados) y perspectivas (e. g. económica, social, territorial), cualquier intento en esa dirección requiere ineludiblemente aprovechar la riqueza de las múltiples aportaciones previas y, a la vez, intentar profundizar en los análisis, con el apoyo de los mejores recursos técnicos, tecnológicos e informativos disponibles actualmente. En síntesis, resulta obligado formular un protocolo analítico renovado, el cual expondremos de manera sucinta de acuerdo con la lógica del diseño inicial en fases y de su aplicación posterior.

1. Etapas e instrumentos para el análisis

1.1. Los significados del concepto de desequilibrio

Aunque el entendimiento prístino del concepto de desequilibrio espacial no presente muchas dudas, en tanto que desigualdad negativamente connotada, su revisión en nuestro horizonte temporal y a la luz de las nuevas ideas emergidas o difundidas sobre la organización del espacio, resulta un ejercicio clarificador ¿Cómo deben interpretarse los desequilibrios espaciales? ¿Qué significados poseen? ¿A qué principios o valores conciernen o afectan?

Al respecto cabe recordar que la organización espacial de la sociedad en el nivel intraurbano, como ámbito fundamental sobre el que discurre la existencia del grueso de la población actual, no solo “determina” la vida cotidiana de la misma, sino que también suscita oportunidades y problemas que se proyectan a su vez en vectores como dinamismo-anquilosamiento, competitividad-ineficiencia, cohesión-desintegración, bienestar-malestar, sostenibilidad-insostenibilidad, equidad-injusticia, etc. La territorialidad del género humano condiciona de manera ineluctable sus actuaciones, razón por la cual su toma en consideración sustantiva puede y debe permear los juicios de los ciudadanos, no solo cuando actúan como individuos, que han de ser

corresponsables de una evolución positiva local y global, sino también cuando intervienen en la toma de decisiones de trascendencia estratégica en comunidades como las municipales.

Del análisis conceptual realizado se coligió que los desequilibrios territoriales concernían a un conjunto de principios o valores relevantes en las sociedades actuales, cuya relación se muestra en la Figura 1. Ellos habrían de constituir los referentes para valorar las desigualdades espaciales empíricamente detectables.



Figura 1. Entendimiento de los equilibrios y desequilibrios espaciales en términos de los principios involucrados en la organización socio-territorial

1.2. Identificación de las facetas de los desequilibrios espaciales

La segunda cuestión previa en la concreción metodológica concernió al establecimiento de las dimensiones o caras de los desequilibrios. ¿Cómo se manifiestan éstos en el ámbito intraurbano? ¿En qué rasgos se materializan? Dejando a un lado las características espaciales que se catalogan como diferencias sin denotación peyorativa alguna y que con frecuencia pueden valorarse como diversidad territorial de naturaleza positiva (Rodríguez Martínez y Zoido Naranjo, 2001), el acento ha de recaer en aquellas manifestaciones que implican desigualdades negativas.

La definición metodológica operativa procedió a abordar varias cuestiones secuencialmente:

- Un sistemático escrutinio de facetas o componentes urbanos susceptibles de expresar ese tipo de desigualdades, e. g. en materia de población, vivienda, economía, ambiente, etc.
- Dilucidación del vínculo lógico entre dichas facetas y los principios de valor atingentes a la organización socio-espacial enunciados anteriormente (vid. Figura 2).
- Selección, para cada una de esas facetas, de los atributos concretos que constituyen manifestaciones empíricas discernibles y no redundantes de posibles desigualdades, v. gr. ubicación de la población, envejecimiento, contaminación, etc.
- Formulación y selección de los indicadores de desigualdades / desequilibrios en la ciudad. En total se han contemplado 113 indicadores en consonancia con el objetivo de proporcionar una perspectiva muy completa de la ciudad (vid. Anexo).

ASPECTOS	CRITERIOS					
	I	II	III	IV	V	VI
1 Carga / presión demográfica espacial	■	■	■	■	■	■
2 Crecimiento demográfico sus componentes	■	■	■	■	■	■
3 Estructura demográfica	■	■	■	■	■	■
4 Aloctonia	■	■	■	■	■	■
5 Nacionalidad	■	■	■	■	■	■
6 Cambios de residencia	■	■	■	■	■	■
7 Arraigo social en la zona	■	■	■	■	■	■
8 Estudios en curso	■	■	■	■	■	■
9 Nivel de estudios alcanzado	■	■	■	■	■	■
10 Estructura según la relación con la actividad	■	■	■	■	■	■
11 Estructura y dinámica de hogares	■	■	■	■	■	■
12 Distribución espacial de los locales	■	■	■	■	■	■
13 Status económico familiar: Renta disponible	■	■	■	■	■	■
14 Conservación de la edificación	■	■	■	■	■	■
15 Calidad percibida en el entorno residencial	■	■	■	■	■	■
16 Calidad ambiental:	■	■	■	■	■	■
17 Equipamientos y servicios para la población	■	■	■	■	■	■
18 Movilidad domicilio-trabajo	■	■	■	■	■	■
19 Los medios para la movilidad urbana	■	■	■	■	■	■
20 Movilidad en vehículo privado	■	■	■	■	■	■
21 Densidad residencial	■	■	■	■	■	■
22 Presencia de viviendas no principales	■	■	■	■	■	■
23 Régimen de tenencia de la vivienda	■	■	■	■	■	■
24 Promoción de viviendas	■	■	■	■	■	■
25 Desarrollo urbanístico	■	■	■	■	■	■
26 Precios de la vivienda	■	■	■	■	■	■

Principios y criterios de desequilibrio:

- I. Cohesión-Integración
- II Eficiencia Espacial y Competitividad
- III Sostenibilidad
- IV Calidad de vida y bienestar
- V Equidad socio-espacial
- VI Justicia ambiental



Figura 2. Aspectos urbanos evaluados y criterios de referencia en el análisis.

- Establecimiento de las unidades espaciales de análisis y fechas de referencia. En lo concerniente al primer punto, y como es bien sabido la aparición de las diferencias, y por ende de los desequilibrios en el territorio, está seriamente mediatizada por la desagregación espacial de la información, esto es, la forma y tamaño de las unidades estadísticas espaciales. La definición de éstas incide directamente sobre las mediciones y conclusiones obtenidas (el conocido problema de la unidad espacial modificable). Considerando los fines institucionalmente requeridos al estudio, dos criterios se adoptaron al efecto. Por un lado se optó por recurrir a la mayor desagregación espacial posible y así, en la mayor parte de los casos, la unidad espacial básica de análisis sería la sección censal o, en su defecto, unidades regulares (cuadrículas de 200 m. de resolución), para permitir la emersión del mosaico detallado intraurbano. Por otro lado, el análisis

contempló un ámbito de rango superior (los 21 distritos municipales), por su valor sintético y su relevancia administrativa. Por su propio carácter, tal división territorial político administrativa ofrece unas referencias de compartimentación espacial perfectamente nítidas y documentadas. Aunque responden a un carácter voluntarista, fruto de decisiones políticas no necesariamente respaldadas por criterios de racionalidad urbanística o territorial, tal división acaba influyendo decisivamente sobre el desarrollo, la estructura urbana y los desequilibrios, puesto que a través de ellos se ordenan y compartimentan numerosos aspectos de la actividad de los poderes públicos. Respecto al segundo aspecto, el interés de evidenciar la dinámica de los desequilibrios-reequilibrios en el tiempo hizo focalizar la atención en el período más reciente (una década). La disponibilidad de la información estadística y la naturaleza de los aspectos y los fenómenos a estudiar resultaron determinantes para adoptar bien 1996-2006 o bien 1991-2001, según los casos y en la medida de lo posible.

1.3. Medición de las desigualdades singulares en el espacio

El objetivo buscado en esta fase fue medir y valorar de los equilibrios-desequilibrios espaciales en cada fecha y compararlos temporalmente. A fin de elucidar la intensidad de las desigualdades, y por tanto su significación, se adoptó la siguiente batería de herramientas gráficas y estadísticas aplicadas a cada indicador de forma individual:

- Resúmenes estadísticos por distritos: media, cociente de localización, desviación estándar, coeficiente de variación e índice de convergencia sigma.
- Mapas de diagramas de barras (para comparación entre fechas) por distritos.
- Mapas de coropletas por secciones censales o cuadrículas, con intervalos por desviaciones típicas, para cada fecha y con una paleta de color dicromática estandarizada.
- Mapa de variación en el período del indicador.

1.4. La tendencia temporal de las desigualdades: ¿reequilibrio vs. desequilibrio?

Las cuestiones motivadoras de la indagación aquí fueron varias: ¿Qué tendencia muestran los equilibrios-desequilibrios espaciales en el tiempo? ¿Qué intensidad y signo exhiben? ¿Apuntan hacia el reequilibrio y convergencia? ¿Prevalen por el contrario las divergencias y se agudizan los desequilibrios? ¿Se mantiene la situación inicial con escasa variación? ¿Cómo se relaciona esa evolución con los principios de valor enunciados inicialmente? ¿Qué interpretación asignarle?

Para una respuesta apropiada se establecieron, en primer lugar, un conjunto de variables de carácter dinámico (e. g. variación temporal, tasas para el período) y otras de referencia (e.g. situación en año inicial, status socioeconómico, densidad poblacional, etc.) por distritos municipales, las cuales fueron sometidas, después, a un análisis estadístico bivariado: correlación lineal, diagrama de dispersión, recta de regresión y ajuste Lowess. Con ellas fue posible evidenciar, de manera pormenorizada, el rumbo de los cambios espacio-temporales y, por ende, los eventuales reequilibrios o divergencias, valorándolos en términos de principios como eficiencia, equidad, sostenibilidad, etc.

1.5. Identificación de síndromes complejos de desequilibrios-reequilibrios espacio-temporales

Muchos procesos intraurbanos tienen nexos e interacciones mutuas, por lo que cabe esperar que puedan reforzarse o compensarse; ello puede desembocar en configuraciones cuyo entendimiento debe remitirse a una perspectiva o plano de aprehensión más global. A tenor de ello, cobra sentido cabal preguntarse: las distintas facetas de las desigualdades y desequilibrios intrametrolitanos ¿tienden a vincularse y asociarse entre sí, conformando síndromes pluri-sintomáticos, o por el contrario exhiben patrones singulares y distintos? ¿Qué desequilibrios espaciales tienden a relacionarse mutuamente, con qué intensidad y en qué sentido? ¿Cómo se proyectan tales síndromes de desequilibrios dentro de la ciudad? ¿Qué intensidad exhiben las eventuales

diferencias? ¿Qué configuración espacial generan, es decir, qué zonas afloran como contrapuestas? ¿Qué ámbitos poseen un perfil similar desde el punto de vista de los equilibrios-desequilibrios-reequilibrios?

Para abordar esta fase se realizó una selección de indicadores según criterios de significación y representatividad de las facetas y procesos urbanos (113 en total) y tomando como unidad espacial de análisis el distrito municipal exclusivamente. Dado que el abanico de preguntas enunciado resulta bastante amplio y de notable complejidad, se hubo de recurrir a instrumentos estadísticos más sofisticados:

- Análisis factorial (extracción de componentes principales con ulterior rotación Varimax) para posibilitar la eventual emersión de tales síndromes. La naturaleza de dichos factores permitiría esclarecer la existencia de desequilibrios concomitantes en varias facetas o dimensiones urbanas, lo que apuntaría a contrastes de mayor calado. En la medida en que no aflorasen o lo hiciesen con escasa definición y nitidez se colegiría, por el contrario, que las desigualdades no tienden a covariar, es decir, a asociarse, lo que implicaría desajustes de menor alcance, por ser singulares o aislados.
- Tipología de distritos basada en la caracterización factorial previamente obtenida (clasificación de tipo jerárquico usando dos técnicas para control de consistencia, la de similitud media no ponderada y la de mínima varianza intragrupo -criterio de Ward-). El resultado permitiría identificar zonas (conjuntos de distritos) con un perfil más definido, i. e. con rasgos más diferenciados, y su valoración en tanto que desequilibrios-reequilibrios.

Como colofón de este apartado procede añadir que el conjunto de análisis se apoyó en la tecnología SIG (ArcGIS) y software estadístico-gráfico (SPSS, NCSS y Excel).

EQUILIBRIOS, DESEQUILIBRIOS Y REEQUILIBRIOS EN LA METRÓPOLI MADRILEÑA: ALGUNOS RESULTADOS

Sólo a título de ejemplo, se presentan los resultados parciales obtenidos en relación con dos aspectos diferentes por su naturaleza social y urbanística y por su utilidad a efectos de mostrar la situación y evolución de las desigualdades y convergencias intra-urbanas. En un primer caso se considera la distribución espacial actual de ciertos colectivos de inmigrantes como potencial factor de desequilibrios territoriales futuros. En segundo lugar, se describen y valoran dos indicadores de rentas personales.

1. La concentración espacial de los inmigrantes

El fenómeno inmigratorio es uno de los que más claramente puede incidir en el devenir del equilibrio territorial. La cartografía con las proporciones de extranjeros de distintas nacionalidades (Figuras 3 a 5) permite apreciar una cierta propensión a la concentración, a la formación de áreas cada vez más diferenciadas o segregadas, que podrían estar propiciando la aparición de diversos tipos de desequilibrios territoriales. Los chinos, seguidos de los rumanos y los marroquíes son los que presentan mayor concentración a través del índice de convergencia. Los peruanos, ecuatorianos y colombianos son los que tienen una distribución más homogénea.

La existencia de zonas específicas manifiesta con mayor intensidad en los distritos de Usera, Villaverde, Villa de Vallecas y Vicálvaro. El distrito Centro, con una gran concentración de extranjeros, muestra una mayor diversidad de nacionalidades.

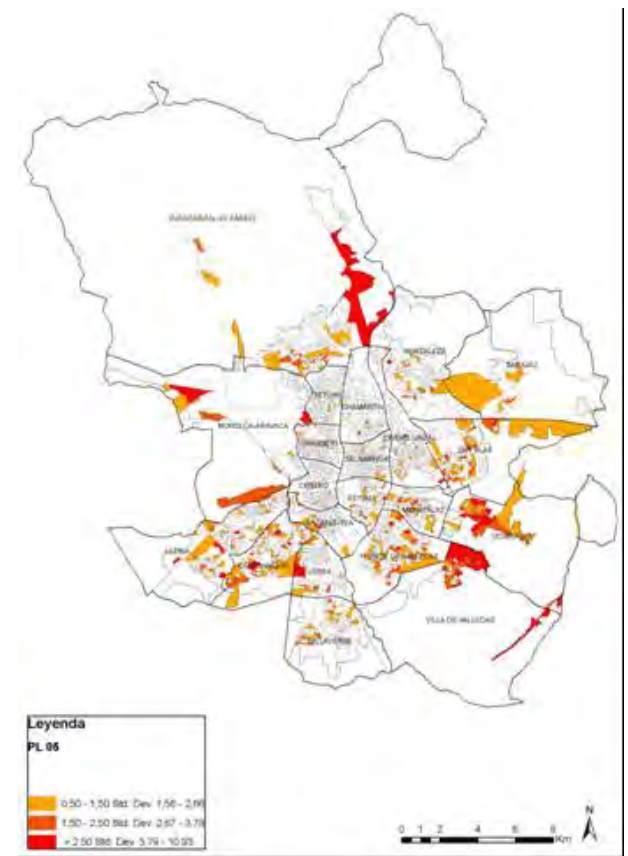
El aumento de la proporción de extranjeros en la población de Madrid, además de ser uno de los principales factores del crecimiento de la población de los distritos, es el fenómeno socio-urbanístico más intenso de los últimos diez años. El hecho de que la población inmigrante presente unos perfiles singulares de edad y estatus socioeconómico lleva a considerarlo como un potencial factor de diversidad primero, pero quizá de desequilibrio socio-espacial después. Las relaciones con diversas variables de estatus socioeconómico y de vivienda permiten hacer una valoración de su incidencia al respecto.



Figura 3. Secciones con marcada presencia de chinos



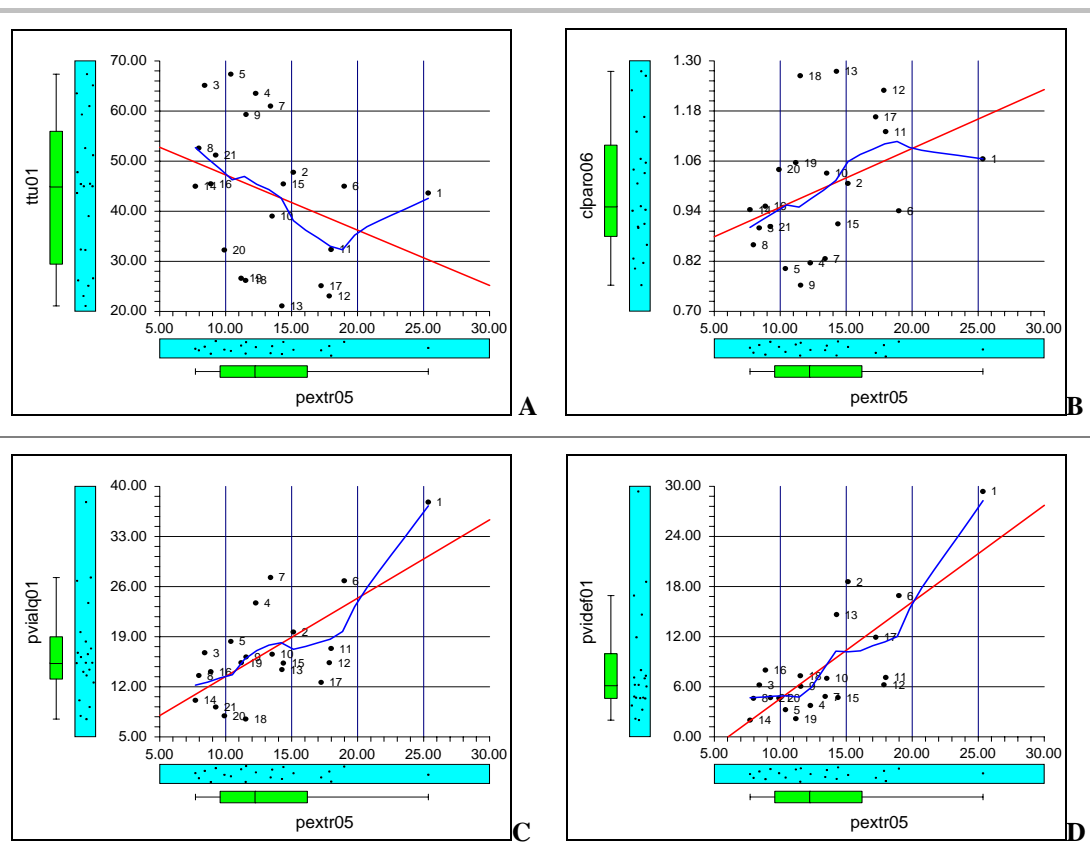
Figura 4. Secciones con marcada presencia de marroquíes



Fuente Elaboración propia a partir del Padrón de 2005.

Figura 5. Secciones con marcada presencia de rumanos

En este sentido el examen de relaciones bivariadas por distritos han permitido desvelar algunos nexos estadísticos sugerentes (Figura 6): la presencia de extranjeros refleja una relación negativa, aunque baja, con la proporción de los empleados titulados universitarios ($r=-0,33$) y algo más elevada con los coeficientes de localización del paro registrados ($r=+0,41$). Estas relaciones, siendo acordes con el perfil socio-profesional y con los factores de localización de la población extranjera, insinúan una intensificación de algunos desequilibrios. Más fuertes son las relaciones con las circunstancias residenciales de los extranjeros: es alta y positiva con la proporción de viviendas con deficiencias ($r=+0,78$), y algo menos intensa, pero evidente, con la presencia de viviendas en alquiler ($r=+0,69$).



Nota: Se muestran las tendencias mediante ajuste lineal y Lowess.

Coefficientes de correlación lineal

	Proporción de titulados universitarios, 2001 (A)	Cociente de localización de paro registrado, 2006 (B)	Proporción de viviendas en alquiler, 2001 (C)	Proporción de viviendas con deficiencias, 2001 (D)
Proporción de extranjeros, 2005	-0,33	+0,41	+0,68	+0,77

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Relaciones de la proporción de extranjeros en 2005 (pextr05) con la proporción de titulados universitarios (ttu01) (A), con el coeficiente de localización del paro registrado en 2006 (clparo06) (B), con la proporción de los hogares en alquiler (pvialq01) (C) y con la proporción de las viviendas con deficiencias (pvidef01) en 2001 (D).

La dimensión y la intensidad de los flujos de inmigrantes extranjeros y la enorme diversidad de procedencias se muestran como un factor potencialmente desequilibrante. Necesariamente ha cambiado el paisaje urbano y, con él, aspectos relevantes de las estructuras sociales y económicas, pero, en todo caso, es en los efectos sobre las condiciones de alojamiento y la segregación espacial en zonas urbanas concretas, con problemas de deterioro urbano, donde más seriamente se manifiestan los riesgos de estos nuevos factores de desequilibrio.

2. El status económico personal

Las rentas personales constituyen un ingrediente obligado de las propuestas de indicadores de desarrollo sostenible elaboradas internacionalmente y, en coherencia, conforma un aspecto de trascendencia primera en la valoración de los equilibrios-desequilibrios intra-urbanos. Resulta obvia la necesidad de diagnosticar la situación presente y la evolución en el inmediato pasado de las rentas familiares, enfatizando el patrón espacial que configuran dentro de su espacio urbano. Adicionalmente, y como elemento revelador del compromiso frente a la pobreza económica, el desvalimiento y la exclusión social que conlleva, se aborda el examen de las medidas de redistribución directa de rentas desde el sector público a individuos especialmente necesitados, a través de la Renta Mínima de Inserción (REMI), tal como se establece en la normativa vigente sobre protección social de la necesidad. Por brevedad se resumirán aquí solo los resultados por distritos.

El nivel de renta en el año 2000 se acercaba en el municipio de Madrid a los 13.000 €y mostraba por distritos unas variaciones destacadas, pues el valor máximo (Chamartín) era 2,4 veces el mínimo (Puente de Vallecas). La distribución estadística era ligeramente asimétrica positiva, aunque los distritos se distribuyen con una cierta regularidad a lo largo de todo el recorrido, mostrando dos intervalos de concentración: uno en el tramo bajo y otro en el tramo medio de rentas.

El mapa de renta para el año 1997 (Figura 7) permite visualizar el contraste entre las zonas más ricas, situadas bien en el interior de la ciudad, bien en la periferia (distritos del NW y Barajas), y los ámbitos de menor renta, que ocupan el arco meridional SW-S-E. El examen de los cambios en el corto periodo 1997-2000 (Figura 8) no evidencia un patrón claro o discriminación entre distritos de altas o bajas rentas. Más bien lo que parece es que los incrementos proporcionales, grandes y pequeños, y afectan a todo tipo de distritos.

En lo concerniente a las REMI, la inspección de las figuras 9 y 10 permite detectar que en 1996 las tasas superiores coincidían con el distrito Centro y los distritos del arco periférico S-SE-E, cuyas rentas, según hemos visto anteriormente, se situaban en niveles bajos. En 2005 el patrón espacial, aunque con ligeros matices, se mantiene en líneas generales. En conjunto, pues, se constata una consistencia loable en la política pública a favor de aquellas zonas donde el indicador de renta hace presumir una mayor presencia de necesitados. Puede decirse que la Renta Mínima de Inserción muestra una distribución espacial discriminatoria en favor de los distritos con rentas más bajas, lo que se ajusta a las metas de equidad, cohesión y solidaridad socio-espacial, deseables desde la óptica general del reequilibrio territorial.

Para corroborar los hechos anteriormente enunciados, y mediante el análisis bivariado por distritos, es posible colegir que la presencia relativa por distritos de personas con REMI (premi05) se asocia con intensidad notable y de forma negativa con los ingresos per cápita, (rpca00) ($r = -0,79$ y Figura 11 A), es decir, se evidencia que en los distritos más opulentos hay relativamente menos casos de sostenimiento con rentas públicas y viceversa. Ambas líneas de tendencia lo muestran inequívocamente, si bien el ajuste Lowess insinúa una curvatura asintótica con ambos ejes, lo que resultaría aún más acorde con los principios de equidad y cohesión socio-espacial, al señalar la prioridad otorgada a los distritos de menores rentas. La evolución decenal de la tasa de REMI (drem9605) no muestra, sin embargo, relación estadística reseñable con la renta per cápita en 2000, ($r = 0,09$ y Figura 11 B). Una lectura más atenta del diagrama denota escasas disparidades entre distritos de altas rentas y ostensibles en los de bajas (probablemente ocasionadas por la agudización de los casos de pobreza en algunos de ellos).



Fuente: Elaboración propia a partir de “Indicador de Renta Familiar Disponible Territorializada” Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid (IECM), www.madrid.org/iestadis

Figura 7. Renta per cápita (€) por distritos, Madrid 1997

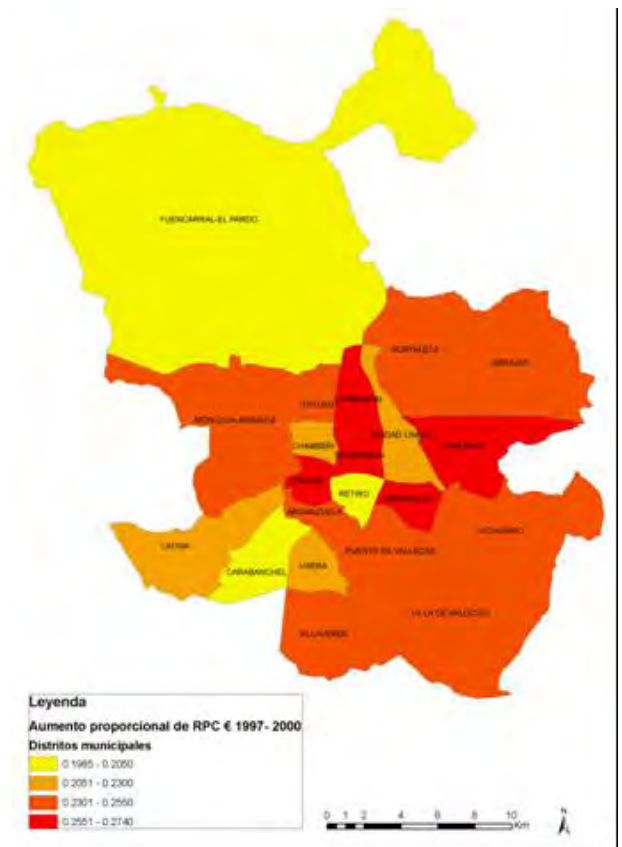


Figura 8. Incremento proporcional de la renta per cápita (€) por distritos, Madrid 1997 – 2000

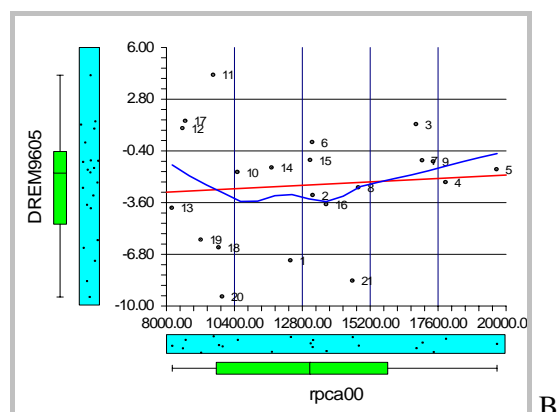
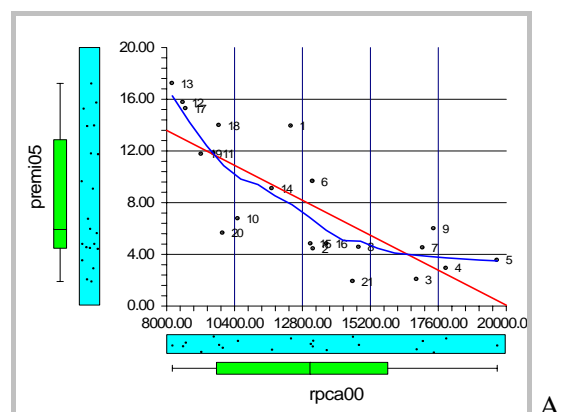


Fuente: Elaborado a partir de datos del Área de Gobierno de Empleo y Servicios al Ciudadano y del Padrón Municipal de Habitantes, Dirección General de Estadística, Ayuntamiento de Madrid.

Figura 9. Personas con renta mínima de inserción (por diez mil habitantes), Madrid 1996



Figura 10. Personas con renta mínima de inserción (por diez mil habitantes), Madrid 2005



Coefficientes de correlación lineal

	Proporción de personas con REMI 2005 (A)	Variación de la proporción de personas con REMI 1996-2005 (B)
Renta per cápita 2000	-0.79	0.09

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Relación de las rentas personales con la tasa de personas percibiendo la renta mínima de inserción (A) y la variación temporal de ésta (B).

BALANCE Y COLOFÓN

El antiguo pero redivivo interés por determinar y valorar los desequilibrios y reequilibrios territoriales significa, como reto de conocimiento, un deseo por disponer de un chequeo o diagnóstico que permita apreciar ampliamente la situación y rumbo de las dinámicas de un ámbito concreto. Su principal utilidad y justificación estriba en proporcionar a los agentes sociales, y especialmente a los responsables de la estrategia global de una ciudad o región, una base sólida para formar juicios y definir directrices generales para tales ámbitos. La reinterpretación de esta línea tradicional de estudios sobre el territorio a la luz de principios recientemente emergidos confiere una nueva relevancia a las aportaciones, por cuanto la vinculan con valores vigentes e inspiradores de políticas a todas las escalas geográficas (local, comarcal, regional, nacional, europea o global).

Tal empeño demanda, por un lado, un abordaje con aspiraciones holistas, genuinamente geográfico. Y por otro, requiere de una metodología de cierta complejidad, capaz de: A) combinar el examen multi-escalar (para hacer aflorar las manifestaciones de los procesos según diversas unidades espaciales relevantes) y temporal (para mostrar las tendencias); y B) penetrar en las manifestaciones particulares, pero también hacer brotar los desequilibrios o síndromes pluri-sintomáticos, si los hubiere.

En este documento, y por las limitaciones de espacio obligadas, se ha resumido fundamentalmente el planteamiento conceptual y metodológico de un estudio reciente sobre la ciudad de Madrid y se ha presentado una pequeña muestra de los resultados. En conjunto, éstos hicieron posible lograr de forma eficaz los objetivos avistados, tanto en cuanto a los diagnósticos parciales de una multiplicidad de facetas, algunos de cuyos ejemplos se han descrito, como en cuanto a la síntesis global de los desequilibrios-reequilibrios, parte ésta que por su complejidad y extensión no ha sido factible exponer aquí.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Badcock, B. (1984): *Unfairly structured cities*. Oxford, Basil Blackwell.

Coates, B., Johnston, R. y Knox, P. (1977): *Geography and inequality*. Oxford University Press, Oxford.

European Communities (2005): *Measuring progress towards a more sustainable Europe. Sustainable development indicators for the European Union*. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg.

Naciones Unidas (1998): *Indicadores de desarrollo sostenible: marco y metodología. Agosto 1996*. Comisión para el Desarrollo Sostenible, Nueva York y Ginebra.

Pedregal, B., Torres, F. J. y Zoido, F. (2006): Propuesta metodológica para la medición del desarrollo y las desigualdades territoriales. Aplicación al territorio andaluz. *Scripta Nova*, X, 220. <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-220.htm> [Consulta 06-02-2007].

Rodríguez Martínez, F. y Zoido Naranjo, F. (2001): Desarrollo territorial y evaluación de la diversidad y desigualdad intrarregional. Una aproximación desde Andalucía. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 32: 113-125.

Smith, D. (1980): *Geografía humana*. Oikos-tau. Barcelona.

VVAA (2007): La cohesión social en España, *Temas para el Debate*, 153-154 (nº monográfico).

Wheeler, S. (2004): *Planning for sustainability creating livable, equitable, and ecological communities*. Routledge, New York.

ANEXO. Principales indicadores descriptivos de los equilibrios-reequilibrios en Madrid durante el período reciente, ordenados por aspectos, con indicación del tipo de indicador

Aspectos demográficos		
1	Media de densidades focales de población (cuadrículas 200 m.) en Madrid 2006	E
2	Desv. típica de densidades focales de población (cuadrículas 200 m.) en Madrid 2006	E
3	Diferencia medias de densidad focal de población 2006 - 1996	D
4	Tasas de crecimiento anual acumulativo de la población 1998 a 2005 %	D
5	Diferencia de los porcentajes de residentes de 65 y más años de edad 1996-2005	D
6	Diferencia de los porcentajes de residentes de 0 a 19 años de edad 1996-2005	D
7	Diferencia de los porcentajes de mayores de residentes de 85 y más años 1996-2005	D
8	Índice de tendencia de emancipación 2005	E
9	Porcentajes de mayores de 65 años 2005	E
10	Porcentajes de residentes de 0 a 19 años de edad 2005	E
11	Porcentajes de mayores de 85 años de edad 2005	E
12	Evolución de la proporción de nacidos en el extranjero 1996-2005	D
13	Proporción de nacidos en el extranjero 2005	E
14	Proporción de extranjeros en edad escolar 2005	E
15	Proporción de extranjeros 2005	E
16	Cociente de localización de las altas por cambio de domicilio 1998-2004	D
17	Cociente de localización de las bajas por cambio de domicilio 1998-2004	D
18	C. localización de bajas por cambio de residencia a otros municipios de la C. Madrid 1998-2005	D
19	C. localización de altas por cambio residencia desde resto España 1998-2005	D
20	C. localización de altas por cambio de residencia desde extranjero 1998-2004	D
21	Proporción hogares unipersonales jóvenes 2001	E
22	Proporción de no emancipados 2001	E
23	Proporción hogares unipersonales de mayores de 65 años 2001	E
24	Proporción hogares monoparentales de mujeres 2001	E
Atributos socioeconómicos		
25	Tasa de graduación en ESO 2001	E
26	Proporción de estudiantes universitarios entre 20 y 29 años 2001	E
27	Tasa de cualificación básica 2001	E
28	Proporción de titulados universitarios 2001	E
29	Diferencia de la proporción de parados 1991-2001	D
30	Diferencia en la proporción de parados de primer empleo 1991 2001	D
31	Diferencia de la proporción de mujeres dedicadas sólo a tareas del hogar 1991-2001	D
32	Diferencia de la proporción de directivos y gerentes 1991- 2001	D
33	Diferencia de la proporción de empresarios que emplean 1991-2001	D

34	Diferencia de la proporción de empresarios que no emplean 1991-2001	D
35	Diferencia de la proporción de empleados fijos 1991-2001	D
36	Diferencia de la proporción de empleados eventuales 1991-2001	D
37	Cociente de localización de parados octubre 2006	E
38	Tasa intrínseca anual de incremento en afiliación en Seg. Social 2005-2006	D
39	Proporción de parados primer empleo 1991-2001	D
40	Proporción de mujeres de 25 a 29 años dedicadas sólo a tareas del hogar 2001	E
41	Proporción de directivos y gerentes 2001	E
42	Proporción de empresarios que no emplean 2001	E
43	Proporción de empleados eventuales 2001	E
44	Renta per cápita (€) 2000	E
45	Tasa de personas con renta mínima de inserción (REMI) 2005	E
46	Diferencia entre tasa de personas con REMI 1996 - 2005	D
	Aspectos relativos a la actividad económica	
47	Empleo en industria manufacturera (CNAE 15 a 37), % respecto a municipio 2004	E
48	Empleo en comercio mayorista (CNAE grupos 512 a 517), % respecto a municipio 2004	E
49	Empleo en comercio minorista (CNAE 521 a 525), % respecto a municipio 2004	E
50	Empleo en hoteles y apartamentos turísticos (CNAE 551 y 55231), % respecto a municipio 2004	E
51	Empleo en restaurantes y establecimientos de bebidas (CNAE 553 y 554), % respecto a municipio 2004	E
52	Empleo en servicios a las empresas (CNAE 65 a 67 y 70 a 74), % respecto a municipio 2004	E
53	Diferencia del % empleo en industria manufacturera 1998-2004	D
54	Diferencia del % empleo en comercio mayorista 1998-2004	D
55	Diferencia del % empleo en comercio minorista 1998-2004	D
56	Diferencia del % empleo en hoteles y apartamentos turísticos 1998-2004	D
57	Diferencia del % empleo restaurantes y establecimientos de bebidas 1998-2004	D
58	Diferencia del % empleo en servicios a empresas 1998-2004	D
	Aspectos relativos a la vivienda	
59	Proporción de viviendas con deficiencias 2001	E
60	Índice de antigüedad media de las viviendas 1991 - 2001	D
61	Proporción de residentes en alquiler 2001	E
62	Variación de la proporción de viviendas vacías 1991-2001	D
63	Proporción de viviendas vacías con más de 30 años de antigüedad 2001	E
64	Proporción de viviendas vacías con menos de 10 años de antigüedad 2001	E
65	Proporción de viviendas secundarias 2001	E
66	Proporción de viviendas con densidad crítica o moderada 2001	E
67	Diferencia en personas por vivienda 1991-2001	D
68	Tasa anual media de construcción de vivienda 1991-2001	D
69	Tasa anual acumulativa de la evolución del precio de vivienda usada 2001-2005	D
70	Tasa anual acumulativa de la evolución del precio de vivienda nueva 2001 - 2005	D
71	Relación entre los precios máximo y mínimo de vivienda nueva 2005	E
72	Precio de vivienda nueva 2005 (€/m ²)	E
73	Precio de vivienda usada 2005 (€/m ²)	E
	Aspectos relativos al medio ambiente	

74	Media SO2 2005 (a partir de valores por cuadrículas de 200 m, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	E
75	Media de partículas en suspensión, PM_{10} (a partir de valores por cuadrículas de 200 m, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	E
76	Media de NO_2 (a partir de valores por cuadrículas de 200 m, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	E
77	Media de O_3 (a partir de valores por cuadrículas de 200 m, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	E
78	Media de nivel sonoro, L_{Aeq} 24 h en dBA, a partir de valores por cuadrículas de 200 m, 2002	E
79	Diferencia de medias de SO_2 , 1995 - 2005	D
80	Diferencia de medias de NO_2 , 1995 - 2005	D
81	Diferencia medias de O_3 , 1999 - 2005	D
82	Porcentaje de viviendas con percepción de problemas de ruido 2001	E
83	Porcentaje de viviendas con percepción de problemas contaminación 2001	E
84	Porcentaje de viviendas con percepción de problemas de limpieza calles 2001	E
85	Porcentaje de viviendas con percepción de problemas de comunicaciones 2001	E
86	Porcentaje de viviendas con percepción de problemas de zonas verdes 2001	E
87	Porcentaje de viviendas con percepción de problemas de delincuencia 2001	E
	Equipamientos y servicios	
88	Población a menos de 6 Km. de los hospitales públicos 2006, %	E
89	Población a menos de 1000 m de los centros de salud 2006, %	E
90	Población a menos de 1Km de los centros educativos de ESO públicos y concertados en 2006, %	E
91	Población a menos de 1,5 Km. de grandes complejos deportivos 2006, %	E
92	Población a menos de 1,25 Km. de los centros culturales en 2006, %	E
93	Población a menos de 1 Km. de las bibliotecas en 2006, %	E
94	Población a menos de 1,5 Km de los centros de servicios sociales municipales 2006, %	E
95	Tasa de población con servicio de ayuda domiciliaria (SAD) municipal 2005	E
96	Población a menos de 2000 m. de las salas de cine 2006, %	E
97	Diferencia en tasa de personas con SAD 1996 - 2005	D
	Transportes	
98	Población a menos de 300 m de las paradas de autobuses de la EMT 2006, %	E
99	Población a menos de 600 m de las bocas del metro 2006, %	E
100	Población a menos de 600 m de de las estaciones de cercanías de RENFE 2006, %	E
101	% Viviendas con 0-1 coche respecto a viv. familiares principales 2001	E
102	% Edificios de viviendas sin plazas de garaje 2001	E
103	Diferencia en porcentaje de población próxima a paradas de EMT 1996-2006	D
104	Diferencia en porcentaje de población próxima a estaciones de Metro 1996-2006	D
105	Duración media de los viajes (minutos) según distrito de residencia 2004	E
106	Porcentaje de población de más de 16 años que tarda < 20' en desplazamiento al trabajo, 2001	E
107	Porcentaje de población de más de 16 años que tarda > 45' en desplazamiento al trabajo, 2001	E
108	Desplazamientos habituales en transporte público 2004, %	E
109	Viajes en transporte público con 1 ó 2 etapas en 2004, %	E
110	Residentes con abono de transporte en 2004, %	E
111	Desplazamientos en vehículo privado en 2004, %	E
112	Diferencia en duración media de los viajes 1996 - 2004	D
113	Diferencia en % de residentes con abono de transportes 1996 - 2004	D

E: indicador estático; D: Indicador diacrónico

Nieto Masot, Ana y Blas Morato, Rocío (2008): SIG_Rural: una aplicación para la gestión de iniciativas de desarrollo rural en Extremadura. LEADER-PRODER. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 355-369. ISBN: 978-84-96971-53-0.

SIG_RURAL: UNA APLICACIÓN PARA LA GESTIÓN DE INICIATIVAS DE DESARROLLO RURAL EN EXTREMADURA. LEADER-PRODER

Nieto Masot, Ana y Blas Morato, Rocío

Área de Geografía Humana. Dpto. de A. y Ciencias del Territorio. Facultad de Filosofía y Letras, Campus Universitario s/n. Universidad de Extremadura. Cáceres 10001. ananieto@unex.es, rblas@unex.es

RESUMEN

En Extremadura desde 1991 se están gestionando Programas de Desarrollo Rural, denominados LEADER y PRODER. Hemos introducido la tecnología SIG como una herramienta de estudio de la gestión de estos Programas. Conociendo el territorio, se podrá analizar con mayor claridad el impacto de este tipo de políticas en los últimos dieciséis años y si han conseguido lograr sus objetivos de mejorar las condiciones de vida de la población rural. El uso de esta tecnología nos ayudará a introducir nuevas reflexiones en la gestión de estos espacios, debido a un mejor conocimiento de su territorio.

Se ha diseñado un visualizador en MapWindowGis para poder analizar el impacto de estas Iniciativas y en qué medida han cumplido sus objetivos iniciales. Por ello hemos creado primero una Base de Datos Cartográfica y Alfanumérica con los parámetros físicos, económicos y sociales de los territorios donde se está aplicando LEADER y PRODER y, posteriormente hemos introducido otra Base de Datos con los parámetros económicos y sociales generados por la gestión de los programas. Esta aplicación, denominada SIG_RURAL es para poder visualizar las bases de datos creadas anteriormente y conseguir de una manera sencilla la consulta de todos los datos introducidos y su localización en el territorio.

Palabras clave: SIG, Desarrollo Rural, LEADER, PRODER, software libre.

ABSTRACT

In Extremadura, since 1991, European Initiatives of Rural Development (LEADER and PRODER) are being managed and financed in different rural territories. We have introduced the technology SIG as a tool of study of the management of these Programs. Knowing the territory, will be able to analyze with greater clarity the impact of this type of politics in the last sixteen years and if its objectives of improving have managed to achieve the living conditions of the rural population. The use of this technology will help us to introduce new reflections in the management of these spaces, due to a better knowledge of its territory.

We have designed an application in MapWinGis to be able to analyze the impact of these Initiatives and in which measure they have completed their initial objectives. Because of it we have created first an Alphanumeric and Cartographic database with the social, economic, and physical parameters of the territories where is applying LEADER and PRODER and, subsequently we have introduced another database with the social and economic parameters generated by the management of the programs. This application, called SIG_RURAL is to be able to visualize the databases created previously and to obtain in a way simple the consultation of all the data introduced and its locating in the territory.

Key Words: GIS, Rural Development, LEADER, PRODER, Open Source Gis.

INTRODUCCIÓN

Desde hace algo más de dos décadas las Administraciones Públicas tanto Españolas como Europeas han implementado medidas para favorecer el desarrollo de los territorios rurales debido a la profunda decadencia de éstos: bajas densidades demográficas, estructura poblacional desequilibrada, acusada disminución de explota-

ciones, abandono de recursos, homogeneización paisajística,... (Laguna Marín Yaseli, M y Lasanta Martínez, T., 2007, pp30).

Entre otro tipo de ayudas surge en 1991 la Iniciativa LEADER I a nivel europeo, con la pretensión de lograr tres objetivos prioritarios en las zonas rurales: mejorar su desarrollo económico, frenar los procesos emigratorios y diversificar las actividades económicas. Significó la puesta en marcha de un nuevo enfoque del desarrollo rural, incorporando los conceptos de endógeno, integrado, innovador, demostrativo y participativo” (Actualidad LEADER, 1998: 16).

En Extremadura se implanta esta Iniciativa, con el objetivo primordial de conseguir mejoras en el desarrollo de las zonas rurales y a su vez lograr frenar los procesos migratorios, posibilitando el mantenimiento de la población en los mismos (Gurría Gascón, J.L, Nieto Masot, A.2005). Ha supuesto un nuevo planteamiento que para muchas de las zonas beneficiadas se implementó en el inicio de una dinámica positiva de desarrollo global e integral, con claro incremento de la actividad económica y la paralización de la despoblación de las comarcas. Ha posibilitado la novedad de implicar a la población local como verdadero motor de gestión en el desarrollo de las actividades de la Iniciativa (Nieto Masot, A., 2007).

Se crean los cuatro primeros LEADER en las comarcas de Sierra de Gata, Valle del Jerte, Alcántara y La Serena en 1991. Pero es en 1995, cuando este modelo se consolida en Extremadura al formarse 22 Grupos de Desarrollo Rural (10 Grupos LEADER II y 12 Grupos PRODER) que agrupaban un total de 311 municipios de los 380 existentes en la región. Posteriormente se concedió la tercera etapa denominada LEADER + y PRODER II donde se crearon tres de nueva formación (Plasencia-Monfragüe; Trasierra- Cáparra y Vegas Altas del Guadiana) y agruparon, en esos momentos a todos los núcleos extremeños excepto las cuatro ciudades: Badajoz, Cáceres, Mérida y Plasencia. Se habían formado 10 Grupos LEADER + y 14 Grupos PRODER II (Figura 1). En la actualidad se está desarrollando la prorroga de esta última etapa, con el compromiso de las Administraciones implicadas de conceder las nuevas ayudas en el año 2008. Es una política de continuidad hasta 2013 debido a que Extremadura por seguir siendo región Objetivo 1 le han sido concedidas por parte de la Comisión Europea y a través del FEADER ayudas para este tipo de programas¹.

Es un modelo de desarrollo que está gestionado por su población mediante los Grupos de Desarrollo Rural. Los Grupos están formados por los distintos agentes políticos, económicos y sociales de un territorio rural con una población no superior a los 100.000 habitantes y con una identidad comarcal natural, histórica o funcional. En la actualidad los 10 Grupos que gestionan LEADER son: Tajo-Salor-Almonte, Campiña Sur, Campo Arañuelo, La Serena, Miajadas-Trujillo, Olivenza, Tentudía, Valle del Alagón y Valle del Jerte y los 14 que gestionan PRODER: Barros Oeste-Sierra Grande, Hurdes, Jérez-Sierra Suroeste, La Siberia, La Vera, Lácara, Monfragüe y su entorno, Montánchez-Tamuja, Sierra de San Pedro-Los Baldíos, Trasierra – Cáparra, Valle del Ambroz, Vegas Altas del Guadiana, Villuercas-Ibores y Jara y por último, Zafra-Río Bodión

Estos programas como hemos comentado anteriormente realizan inversiones en distintas actividades productivas, basadas en la cofinanciación, así todos los proyectos que se realicen tendrán participación de la UE mediante sus Fondos Estructurales (FEDER, FSE, FEOGA-O y/o FEADER), de las Administraciones Nacionales (Central, Autonómica y Local) y cuando sean “medidas productivas” de agentes privados.

Conociendo el territorio, se podrá analizar con mayor claridad el impacto de este tipo de políticas y si han conseguido lograr sus objetivos de mejorar las condiciones de vida de la población rural. Es uno de los objetivos de la Iniciativa LEADER +, “ayudar a los agentes del mundo rural a reflexionar sobre el potencial de su territo-

¹ La Comisión Europea aprobó el 24 de Marzo del 2008 destinar 1.188 millones de euros hasta 2013 a modernizar el campo y mantener la población rural en Extremadura mediante un Programa de Desarrollo Rural que aplicará el Fondo Europeo FEADER. Este programa tiene tres líneas de actuación, donde la tercera está destinada a mejorar la calidad de vida y la economía en las zonas rurales. Esta tercera línea es la que van a gestionar los Grupos de Desarrollo Rural y está dotada con 145 millones de euros. Cada Grupo, y hay 24 seleccionados, aplicarán en su territorio esas medidas de creación de empresas, formación, implantación de las tecnologías de información y comunicación. Existe un compromiso por parte de las Administraciones implicadas de mantener los mismos 24 Grupos que en la anterior etapa.

rio en una perspectiva más largo plazo”². Así, el uso de la tecnología SIG nos ayudará a introducir nuevas reflexiones en la gestión de estos espacios debido a un mejor conocimiento de su territorio (Nieto Masot, A.; 2004).

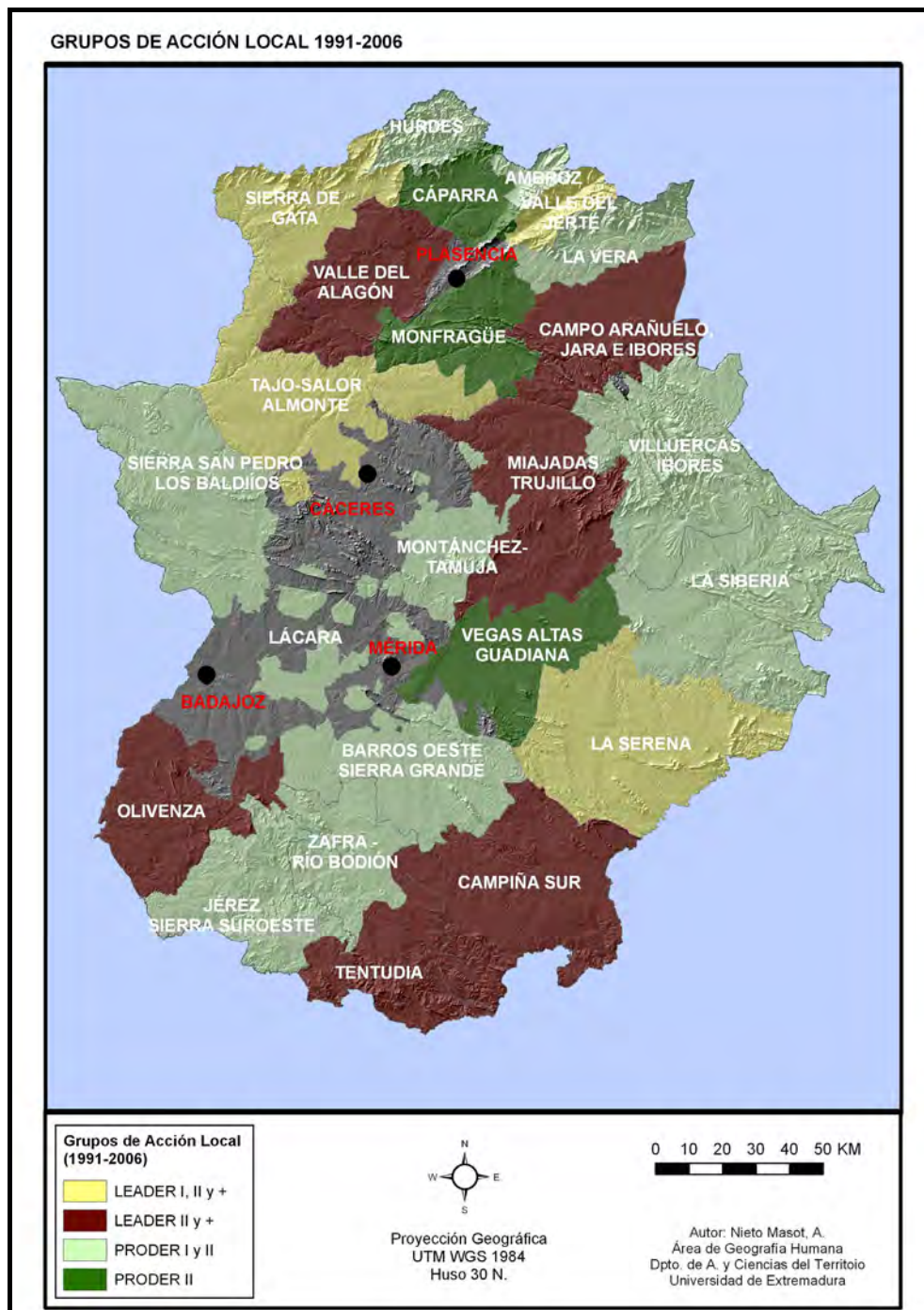


Figura 1. Localización de los Grupos de Desarrollo Rural en Extremadura (2001-2006)

² Aparece como objetivo primordial en el Reglamento (CE) n° 1260/1999 donde se fijan las orientaciones de la Comisión para la Iniciativa LEADER+.

Por ello, se ha incluido esta herramienta, los Sistemas de Información Geográfica, para representar espacialmente los resultados de estas Iniciativas. Todas las variables físicas, socioeconómicas, demográficas y las inversiones por Medidas se han codificado e insertado en una base de datos cartográfica y alfanumérica a escala comarcal y municipal. Se han introducido todos estos datos para la representación espacial, consulta y toma de decisiones en la gestión o el estudio de estas Políticas de Desarrollo Rural.

OBJETIVOS

Se pretende con este trabajo conseguir los siguientes Objetivos:

1. Desarrollo de una aplicación personalizada de un Sistema de Información Geográfica para la gestión de los datos de los Grupos de Desarrollo Rural LEADER y PRODER.

2. Diseñar una herramienta informática donde se introducen los datos socioeconómicos gestionados por estos Grupos. A ellos, se les unirían otros datos físicos, económicos y sociales de la comarca donde está actuando el Grupo de Desarrollo Rural.

3. Conseguir de una manera sencilla la consulta de todos los datos introducidos y su localización en el territorio. Por ello, permitir a los gestores de estas iniciativas, mediante esta herramienta, poder analizar la relación entre las inversiones económicas y las características del territorio donde se están implementando.

4. Poder publicar todos estos datos en un servidor web para su consulta también a través de Internet de este tipo de actuaciones por parte de cualquier usuario.

5. Implementar todos los datos cartográficos y alfanuméricos en software libre para poder publicarlo y distribuirlo sin coste alguno de licencia y, en el futuro que nuevas investigaciones puedan ampliar el desarrollo del programa mediante licencias gratuitas. Se realizaron las Bases de Datos en Open Office y el visualizador SIG en Map Window Gis. El software Map Window es un Sistema de Información Geográfica Programable, y perteneciente al Open Source Team³. Sus principales aportaciones han sido desarrolladas por las Universidades americanas de Utah e Idaho. Su lenguaje de programación es Visual Basic. Net y C++. La programación en este proyecto se realizó en Visual Basic.net, lenguaje utilizado en otras aplicaciones SIG propietarios como el software ArcGis.

Al ser un SIG perteneciente al OSS Team se pueden consultar sus códigos fuentes mediante un repositorio como Tortoise SVN. Al ser Open Source Team, podemos modificarlos y adaptarlos a nuestras aplicaciones y publicarlos en su página de desarrolladores. Es por lo tanto un software de código libre y gratuito, que además al estar programado en Visual Basic se puede modificar mediante un Active X Control sus herramientas y desarrollar otras nuevas.

BASES DE DATOS EN SIG_RURAL

Los datos que se utilizaron en nuestro proyecto, se introdujeron en una base de datos Open Office y se agruparon temáticamente en cinco grandes grupos, siendo los siguientes (Nieto Masot, A: 2007):

- Naturales.
- Demográficos.
- Económicos.
- Equipamientos y Servicios.
- Medidas.

³ Existe una comunidad de usuarios y desarrolladores que se puede suscribir mediante e-mail y una página de desarrolladores en wikipedia además de la original del proyecto. <http://mapwindow.org/wiki/index.php/>

Naturales

- Topografía. (Altitud y Pendiente). Para generar estas variables se utilizó como fuente el Modelo Digital del Terreno, a escala 1:25.000, de la Consejería de Agricultura de la Junta de Extremadura.
- Edafología (tipología de rocas, edad geológica y suelos). Obtenidas del Sistema Español de Información sobre Suelos (SEIS).
- Variables Climáticas (Precipitaciones y Temperaturas) del Instituto Meteorológico Nacional.

Demográficas:

- Evolución de la Población desde 1990 hasta 2006. Población Total, Tasas de Natalidad y Mortalidad, Crecimiento Natural y SalDOS Migratorios, obtenidos del Instituto Nacional de Estadística.
- Estructura de la Población: datos por sexo y edad de 1991 y 2006 (INE).

Económicas:

- Variables agrarias, de la Consejería de Agricultura de la Junta de Extremadura y del Censo Agrario del INE.
- Población activa en los años 1991 y 2001 por grandes sectores de actividad obtenidos de los Censos de Población del INE. No se han podido obtener datos más actualizados, ya que a escala municipal con este nivel de precisión solamente se publican los censos de población cada diez años. Además, los datos son referentes a finales del 2001, pero se han publicado en 2003 y 2004.
- Paro por sectores económicos y nivel de estudios en los años 1995 y 2006. Se han obtenido de la Consejería de Economía de la Junta de Extremadura.
- Las Actividades Comerciales de los años 1991 y 2006 obtenidas de las Cámaras de Comercio e Industria de Badajoz y Cáceres.
- Presupuestos Consolidados Locales anuales desde el año 1985 hasta el 2006 obtenidos del Ministerio de Administraciones Públicas, para estudiar las inversiones y deudas de las entidades municipales de Extremadura.

Equipamientos y Servicios

- Recursos sociales, turísticos y equipamientos, introducidos a través de los datos obtenidos del Anuario Económico de España 2006, publicado por La Caixa y, de las distintas Consejerías de la Junta de Extremadura.
- Recursos Naturales, introduciéndose las variables de los territorios protegidos en Extremadura dentro de la Red Natura 2000. Obtuvimos los datos de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de la Junta de Extremadura.

Medidas de LEADER y PRODER

Se han introducido las variables desde la primera etapa de financiación europea: incluyéndose las inversiones de LEADER I, LEADER II y PRODER I y; el último periodo finalizado LEADER + y PRODER II. Se han incluido también la tipología de Proyectos, Beneficiarios, Empleo, Empresas y Acciones Turísticas ejecutadas en las distintas etapas de LEADER y PRODER. En cada etapa y dependiendo de la normativa y del funcionamiento de cada Grupo se han priorizado hacia determinados sectores de actividad y beneficiarios.

La base de datos Open Office con todas las variables territoriales y los datos socioeconómicos de las Iniciativas se puede observar en la siguiente figura:

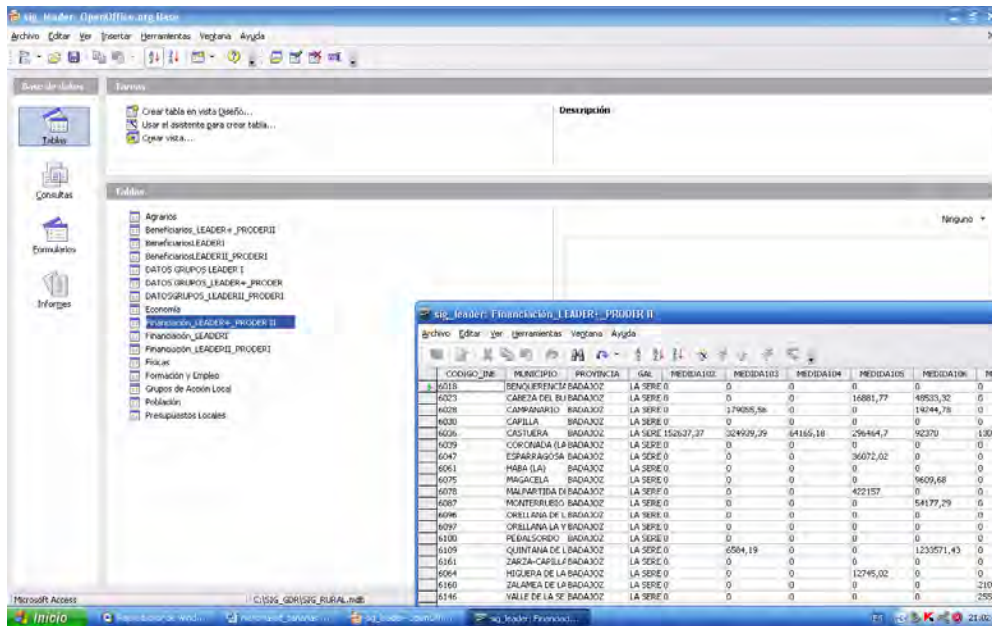


Figura 2. Base de Datos Open Office con todas las Tablas Municipales

MODELO DE DATOS DE SIG_RURAL

El Modelo de Base de Datos es Relacional y se ha implementado con los datos de las Iniciativas, y los parámetros poblacionales, económicos y sociales de los municipios que se han descrito en las tablas anteriores. Son relaciones de uno a muchos, ya que todas las relaciones están basadas en los 379 municipios de los Grupos de Desarrollo Rural y en las distintas tablas de variables: demográficas, agrarias, económicas,... El Id o Identificador que sirve como elemento de unión entre las distintas tablas es el código INE de cada municipio (Fig. 3).

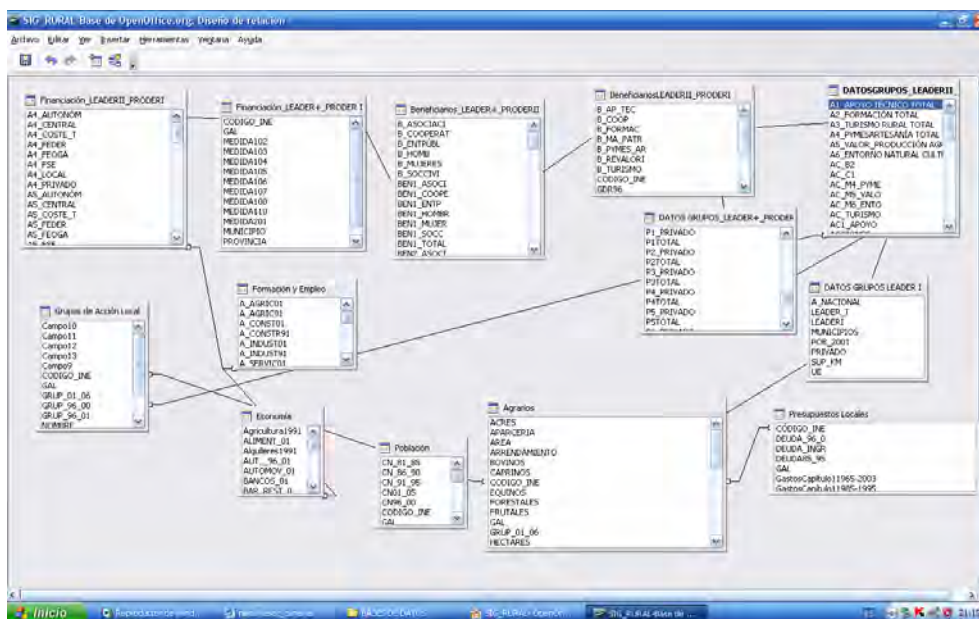


Figura 3. Modelo Relacional implementado en la Base de Datos Open Office

Una vez creada la Base de datos relacional, se fueron importando las distintas tablas al software MapWin-Gis unidas a la Base Municipal Cartográfica del 1:200.000 del M.T.N. Así, se crearon tantos archivos shape como tablas en Open Office a escala municipal y a escala comarcal (las Iniciativas LEADER y PRODER). A su vez se añadieron otros archivos cartográficos de la BCN 1:200.000 y otros referidos a recursos naturales, usos del suelo y modelos digitales del terreno. La base de datos cartográfica y alfanumérica quedó resumida de la manera siguiente (Tabla 1 y Figura 4):

Tabla 1. Estructura de Bases de Datos Cartográficas y Alfanuméricas de SIG_RURAL.

Base de Datos Cartográfica	Base de Datos Alfanumérica
Núcleos de Población	Físicas
Municipios	Demografía
Iniciativas LEADER y PRODER	Agrarias
Carreteras	Economía.
Ferrocarril	Formación y Empleo
Hidrografía	Presupuestos Locales
Vías Pecuarias	Equipamientos y Servicios.
Usos del suelo (CORINE)	Financiación LEADER I
Geología	Financiación LEADER II-PRODER I
Edafología	Financiación LEADER+-PRODER II
Forestales	Beneficiarios, Empleo y actividades creadas por LEADER I
Red de Espacios Naturales	Beneficiarios, Empleo y actividades creadas por LEADER II-PRODER I
Modelos Digitales del Terreno	Beneficiarios, Empleo y actividades creadas por LEADER +-PRODER II

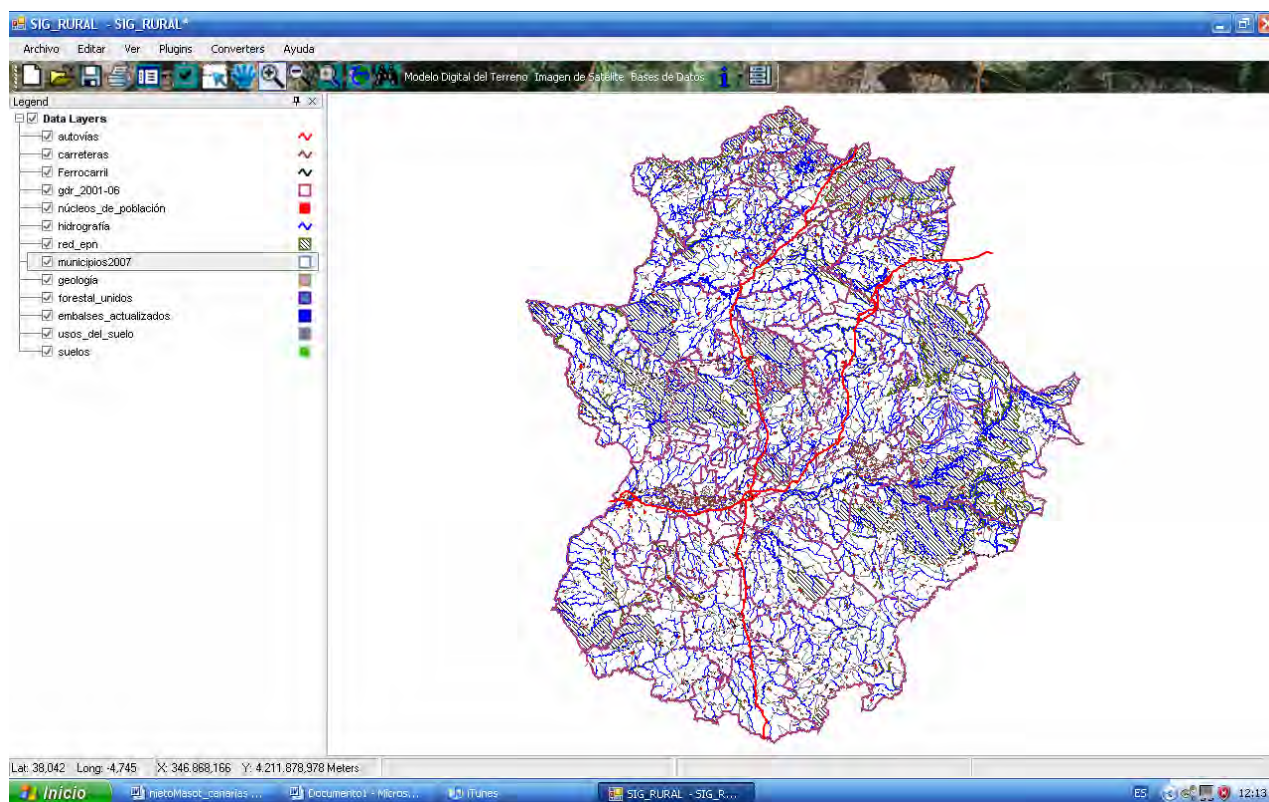


Figura 4. Bases de Datos Cartográficas de SIG_RURAL

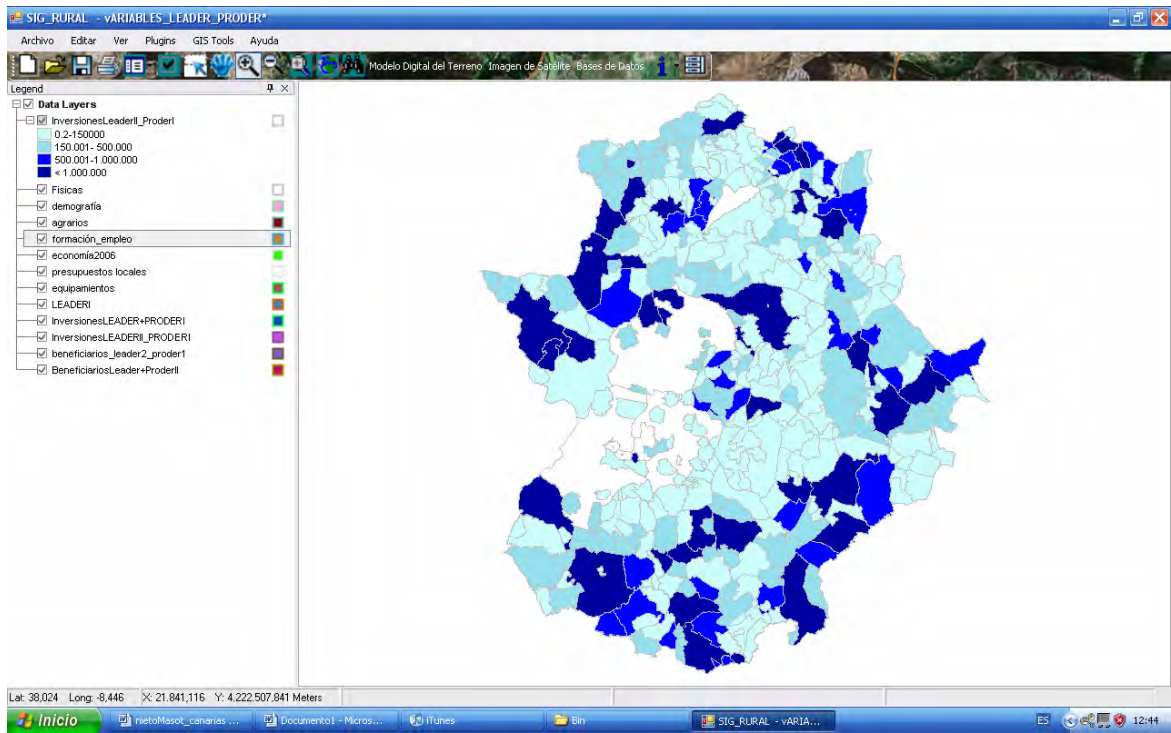


Figura 5. SIG_RURAL con los datos municipales de LEADER y PRODER.

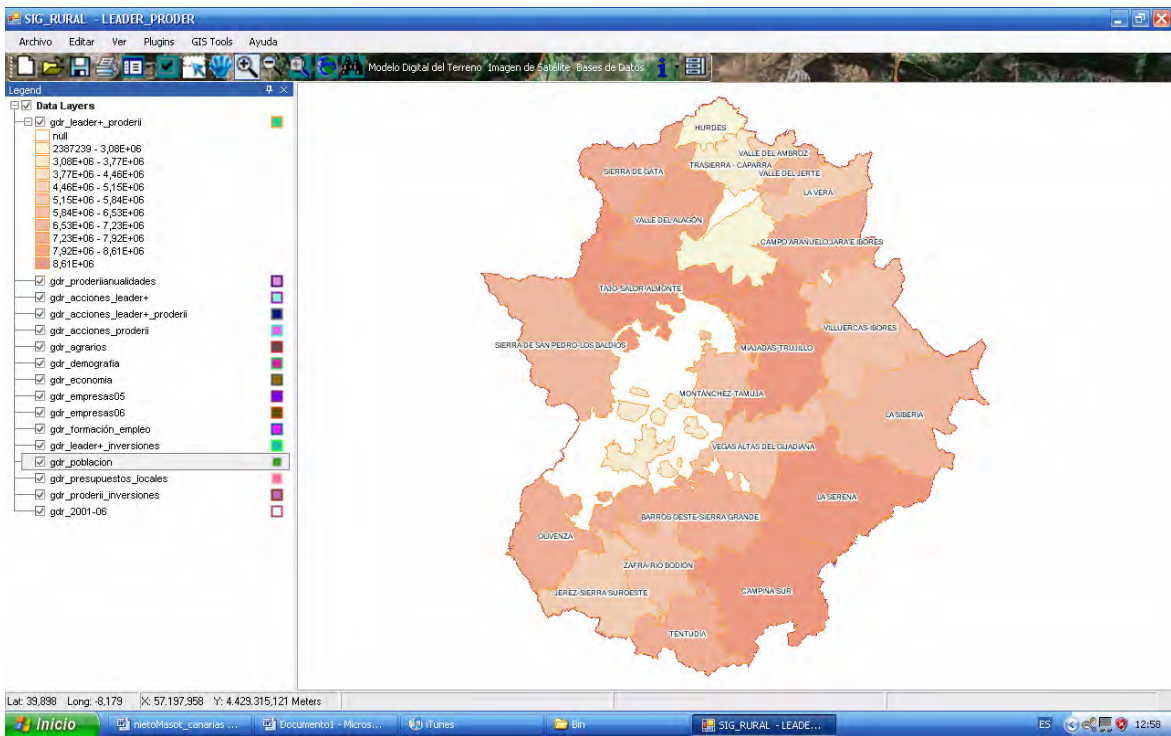


Figura 6. SIG_RURAL con los datos comarcales de LEADER y PRODER.

Todos estos datos al introducirse en un Sistema de Información Geográfica nos permiten producir salidas gráficas y cartográficas que faciliten la toma de decisiones o el análisis de determinados aspectos. Existen ya en otras Comunidades Autónomas experiencias similares con tecnología SIG como herramienta de estudio de las Iniciativas LEADER, caso del SIG implantado con MapObjects para los territorios LEADER II de Aragón, el de Castilla –La Mancha, que aglutina a todos los LEADER en un visualizador de Internet denominado SIG CEDERCAM y otro visualizador SIG de la Asociación para el Desarrollo Rural MedioGuadalquivir en Andalucía (Nieto Masot, A; 2007). En este trabajo tenemos la ventaja de haberlo implementado en un software libre de sencillo manejo como es Map Window Gis.

Por último, se desarrolló en Map Window Gis 4.4 y Visual Basic.net la herramienta denominada SIG_RURAL para permitir a los gestores de esta iniciativa el análisis y las relaciones entre las inversiones económicas y las características del territorio. Se desarrolla así un visualizador sencillo e intuitivo, que puede facilitar su uso sin necesidad del manejo de complejos SIG.

FUNCIONAMIENTO DE SIG_LEADER

Se han confeccionado unas herramientas implementadas en formato de botones para facilitar el manejo del sistema, donde a primera vista se puede observar las principales funciones del SIG:



Nuevo Proyecto



Abrir Proyecto



Guardar Proyecto



Imprimir



Añadir y Borrar Temas



Herramientas de Zoom (Desplazarse por el mapa, Zoom Más, Zoom Menos, Zoom Previo y Zoom a todas las capas existentes en el mapa)



Seleccionar



Buscar elementos

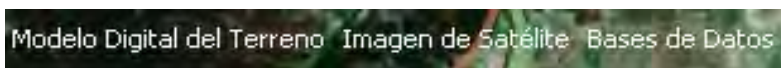


Identificar Elementos



Abrir Tabla

elementos de una capa



Con estos tres botones podemos añadir directamente un Modelo Digital del Terreno a escala 1:25.000 de cada uno de los Grupos LEADER y PRODER, una Imagen de Satélite o ir directamente a sus bases de datos por Grupos con las variables de gestión de la propia iniciativa. Se puede observar en la siguiente figura con el ejemplo del Grupo de Acción Local del Valle del Jerte como hemos accedido al Modelo Digital del Terreno y posteriormente le hemos añadido otras variables cartográficas. Con estos menús podemos estudiar con mayor detalle las peculiaridades de cada Grupo de Acción Local, al haber introducido sus variables cartográficas de la BCN 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional, además de las bases de datos alfanuméricas explicadas en los párrafos anteriores.

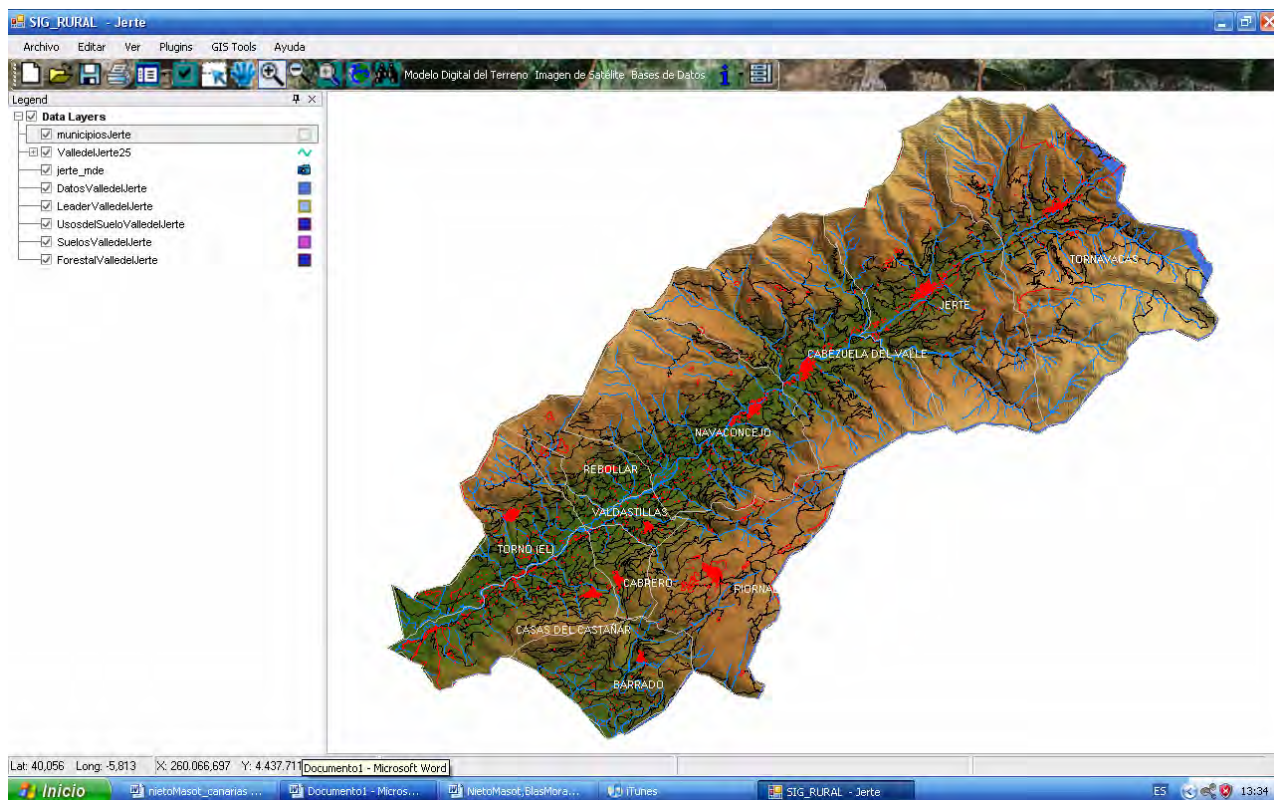


Figura 7. SIG_RURAL con la cartografía del Valle del Jerte.

La Herramienta de Bases de Datos nos permite acceder directamente a los datos de Gestión de las Iniciativas con el siguiente menú desplegable:

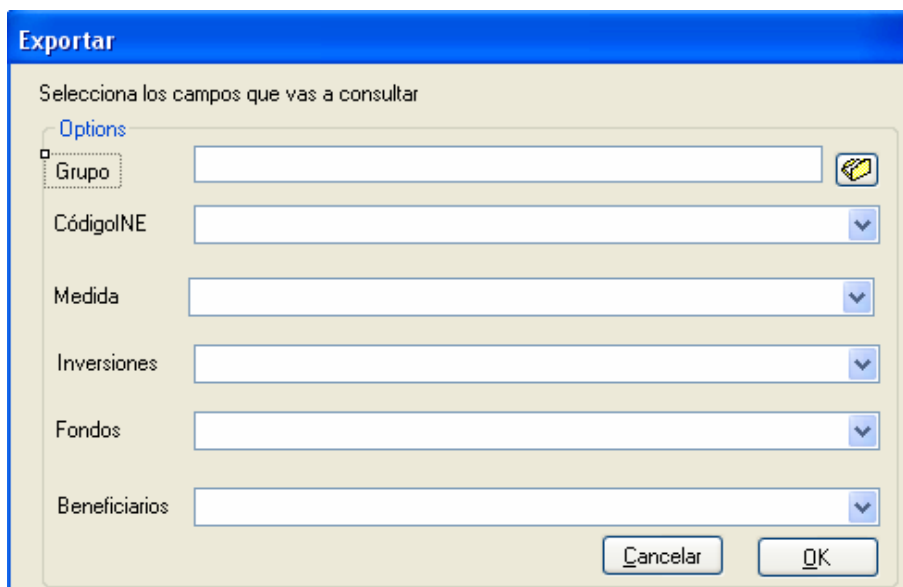


Figura 8. Desplegable para la Consulta de la Base de datos SIG.

Al relacionar Medidas e Inversiones de un mismo Grupo o de todos los Grupos, podemos obtener Mapas directos con colores graduados como el siguiente de las Inversiones de los Grupos LEADER:

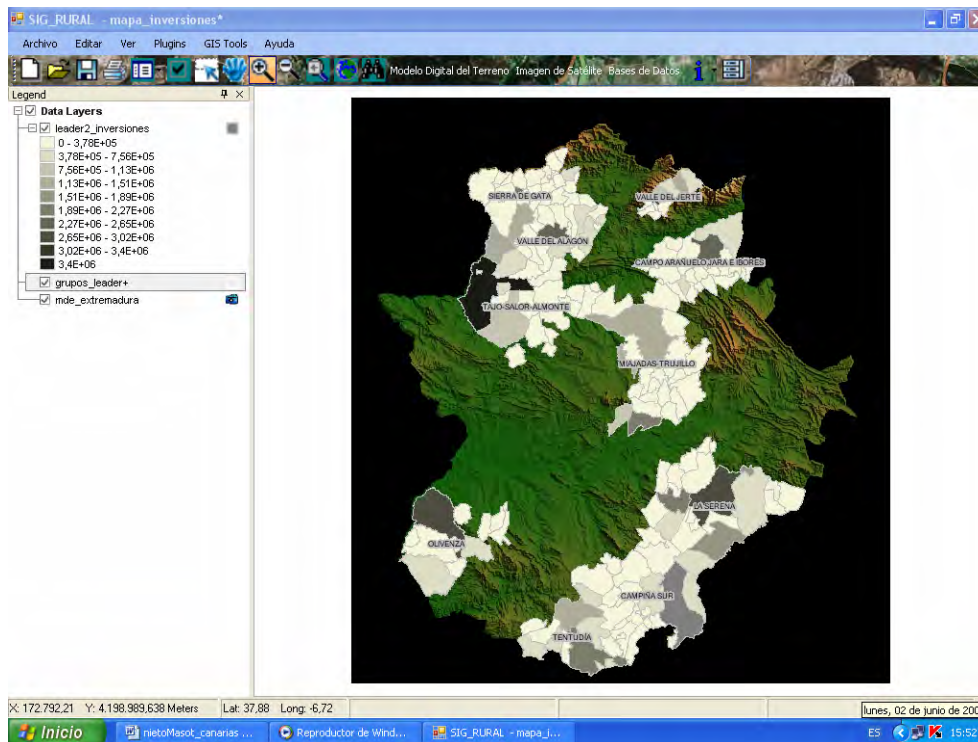


Figura 9. Consulta de las Inversiones Totales Municipales de LEADER II.

Además se han añadido los menús desplegables básicos de Map Window Gis para que una vez se conozca el sistema se le pueda añadir mayor funcionalidad con estas herramientas diseñadas en cuatro bloques:

Archivo: Presenta todas las funcionalidades de los Archivos como abrir proyectos, guardarlos, imprimir, cerrar, y salir. La herramienta de Imprimir le añade gran sencillez ya que podemos imprimir una plantilla con todos los elementos de un mapa georreferenciado.

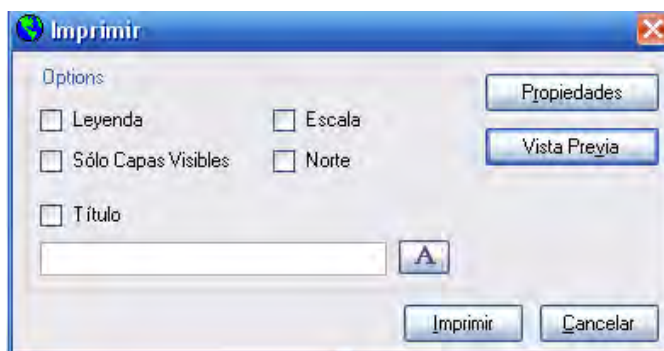


Figura 10. Desplegable para Imprimir

Editar: Para poder exportar el mapa, con la leyenda, la escala y el norte insertos en la imagen que vamos a exportar. Esta herramienta le añade gran funcionalidad para manejar los SIG a personas que no tengan experiencia en diseñar mapas. Nos permiten estas herramientas una vez diseñadas nuestras bases de datos de LEADER y PRODER poder exportar plantillas sencillas de inversiones, localización de recursos turísticos o naturales, variables demográficas y socioeconómicas,... como se puede observar en la figura siguiente con un ejemplo de un mapa de recursos turísticos y naturales de la comarca del Valle del Jerte.

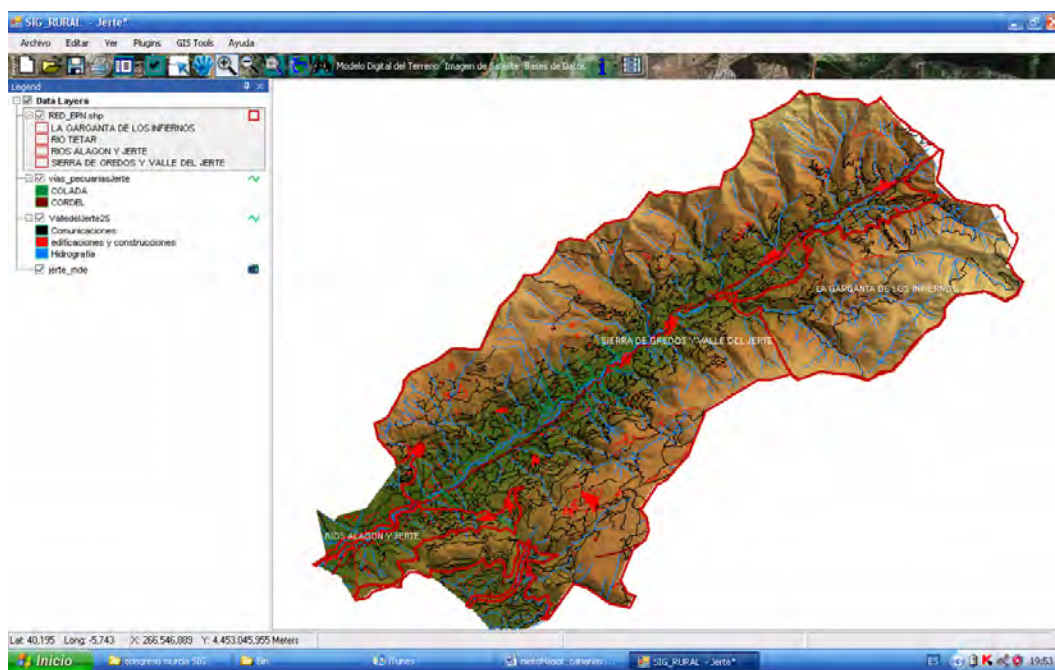


Figura 11. Cartografía de recursos naturales y turísticos de un Grupo LEADER (Valle del Jerte)

Ver. Con todas las herramientas de Zoom (ampliar, disminuir,...) y las herramientas de añadir y borrar capas.

Plugins. Todos aquellos usuarios que en el futuro se quieran descargar plugins como GisTools (con herramientas más complicadas de tratamiento de información vectorial y raster), shapefile editors (para que puedan editar su propia cartografía) o el módulo 3d (para realizar modelos en tres dimensiones).

Además podemos desarrollar nuestras propias herramientas en Visual Basic.net una vez que vayamos estudiado nuevas necesidades de mejora del sistema e introducirlas como plugins en nuestro SIG.

En la siguiente figura comprobamos una plantilla de mapa con las variables de los recursos naturales de los Grupos LEADER y PRODER.

CONCLUSIONES

El desarrollo de múltiples consultas puede permitir, por lo tanto, un mayor conocimiento de las comarcas y sus características. De esta manera, se han podido representar espacialmente las principales características socioeconómicas y naturales. A partir de esta base cartográfica y de realizar numerosas consultas al sistema se puede realizar un análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) para establecer las prioridades en las medidas de LEADER y PRODER que potencien los distintos territorios. Algunos ejemplos de las consultas realizadas durante la elaboración del proyecto se reflejan en las anteriores figuras.

Una de las principales ventajas del SIG, y sobre todo basado en software libre, es poder aplicarlo en la gestión diaria de los Programas sin costes en software propietarios y simplemente con el mantenimiento de las Bases de Datos.

En este momento se están desarrollando nuevas conexiones con las bases de datos de los distintos territorios y también se están realizando pruebas para poder publicarlos en Internet con la extensión de Map Window Web.

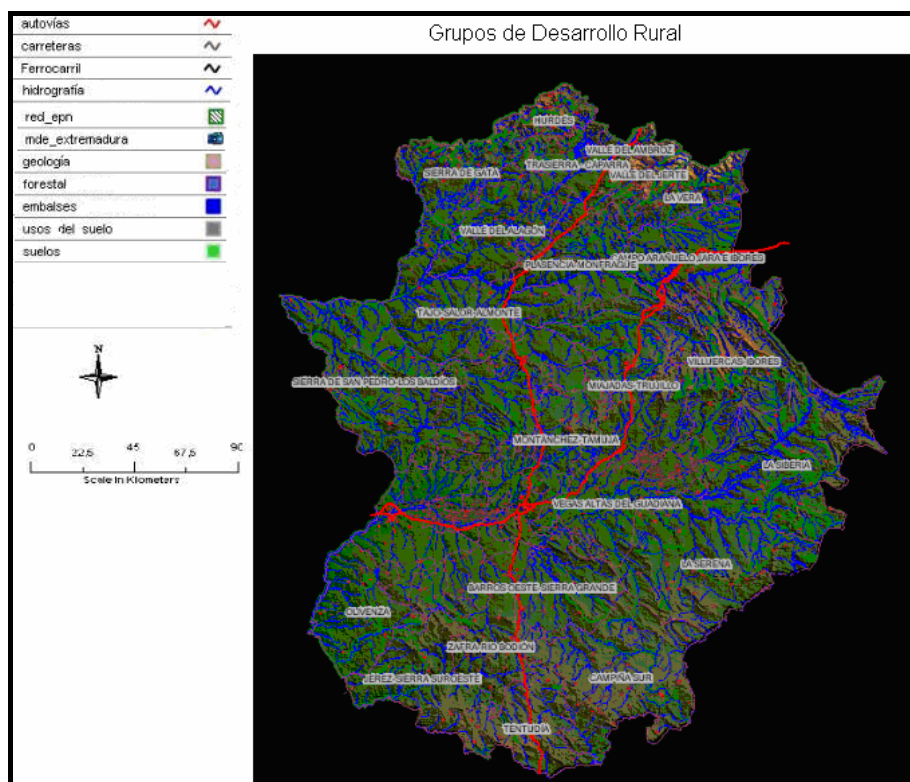


Figura 12. Recursos Naturales Grupos de Desarrollo Rural

BIBLIOGRAFÍA

- Actualidad LEADER (1998): El LEADER I en España. Una experiencia innovadora. *Actualidad LEADER-Revista de Desarrollo Rural*, 1: 16-20.
- Alario Trigueros, M. y Baraja Rodríguez, E. (2006): Políticas públicas de desarrollo rural en Castilla y León, ¿sostenibilidad consciente o falta de opciones? LEADER II. *Boletín de la AGE*, 41: 267-293.
- Blanco, Luís Miguel. *Programación en Visual Basic. NET*.
- Beltrán, C. (1991): Una Iniciativa para el desarrollo rural: LEADER. *Revista de Estudios Agro-Sociales*, 158: 189-196.
- Bosque, J. (2000): *Sistemas de información geográfica*. Rialp, Madrid.
- Bosque, J. y Moreno, A. (2003): *Sistemas de información geográfica y localización óptima de instalaciones y equipamientos*. Editorial Ra-ma, Madrid.
- Ceballos, Fco. Javier (2005): *El lenguaje de programación Visual Basic.Net*. Edit. Ra-ma, Madrid.
- Esparcia Pérez, J. (2004): Las Políticas de Desarrollo rural: Evaluación de resultados y debate en torno a sus orientaciones futuras. En: *El mundo rural en la era de la globalización: incertidumbres y potencialidades. Serie Estudios*. MAPA.

- Esparcia, J. y Noguera, J (2000): Y llegó la hora de los territorios y el desarrollo rural. En: Ramos, E. (Ed.), *El desarrollo rural en la Agenda 2000*, MAPA, Madrid.
- Etxerrarreta, M. (1988): Desarrollo rural Integrado. *Serie Estudios*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 444 pp.
- Gurría Gascón, J.L. (2007): El sistema urbano en Extremadura y su influencia en el desarrollo rural. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*. Vol. XXXIX, Nº 151. Ministerio de Vivienda, Madrid.
- Gutiérrez, J. y Gould, M. (1994): *Sistemas de información Geográfica*. Síntesis, Madrid.
- Felicísimo, A. (1994): *Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicación a las Ciencias Ambientales*. Pentalfa, Oviedo.
- Jansma, D.J. et al. (1981): Rural Development: a review of conceptual and empirical studies. En: Martin, L.R. (Ed): *Economics of Welfare, Rural Development and Natural Resources in Agriculture, 1940's to 1970's*. University of Minnesota Press. Minneapolis.
- Latre, M.Á.; Noguera, J. S.; Blasco, S.; Rioja, R. y Zarazaga, F.J. (2001): Integración de capacidades de visualización geográfica en el software de gestión de proyectos LEADER. *Mapping*,
- Nieto Masot, A. (2004): Sistemas de Información Geográfica en la Gestión de los Espacios Rurales en Extremadura. En Conesa Carcía, C. y Martínez Guevara, J.B. (Eds), *Territorio y Medio Ambiente. Métodos Cuantitativos y Técnicas de Información Geográfica*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, Murcia.
- Nieto Masot, A; Gurría Gascón, J.L. (2005): Análisis de la población de los programas de desarrollo rural en Extremadura mediante sistemas de información geográfica. *Revista Cuadernos Geográficos*, "La población española: nuevo siglo, nuevos datos, nuevos perfiles" Nº 36, 2005-1.
- Nieto Masot, A. (2007): *El desarrollo rural en Extremadura: las políticas europeas y el impacto de los programas Leader y Proder*. (Tesis Doctoral), (CD Edit. por Universidad de Extremadura.
- Nieto Masot, A.; Blas Morato, R. y Corbacho Parra, J. (2008): SIG-Libres para la gestión de territorios rurales en Extremadura. Las Iniciativas LEADER. *II Jornadas de Sistemas de Información Geográfica Libres*. SIG-TE-Universidad de Girona.
- Reglamento (CE) Nº 1260/1999 DEL CONSEJO de 21 de junio de 1999 *por el que se establecen disposiciones generales sobre los Fondos Estructurales*.
- Regidor, J. (2000): *El futuro del mundo rural en España*. Madrid, CES. 187 pp.
- Pillet, F. (Ed.) (2001): *Lecciones de Desarrollo Rural*. Guía de Desarrollo Rural. Universidad de Castilla-La Mancha.
- Quintana, J. y Cazorla, A. (1996): Una aproximación metodológica de la integración comunitaria en la formulación de proyectos de Ingeniería en el medio rural: optimización, de tiempos y costes. *Investigación Agraria*, 13: 29-42.

Quintana, J., Cazorla, A. y Merino, J. (1999): Desarrollo rural en la Unión Europea: Modelos de participación social. *Serie Estudios*. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, 256 pp.

Santos Preciado, J. M. (2004): *Sistemas de Información Geográfica*. UNED, Madrid.

Páginas Web:

<http://www.mapwindow.org>

<http://svn.mapwindow.org/svnroot/>

http://www.mapwindow.org/wiki/index.php/Main_Page

Nogués Linares, Soledad y Salas Olmedo, Henar (2008): La medición del impacto territorial de las carreteras en áreas periféricas a través del análisis de los usos del suelo. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 370-380. ISBN: 978-84-96971-53-0.

LA MEDICIÓN DEL IMPACTO TERRITORIAL DE LAS CARRETERAS EN ÁREAS PERIFÉRICAS A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LOS USOS DEL SUELO

Nogués Linares, Soledad y Salas Olmedo, Henar

Universidad de Cantabria. ETSI. Caminos, Canales y Puertos. Dpto. Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio. Avda. Los Castros, s/n. 39005. Santander. soledad.nogues@unican.es, salasmh@unican.es

RESUMEN

Las carreteras generan un impacto territorial que se manifiesta en cambios en los usos del suelo y afecta en mayor medida a los ámbitos en los que el incremento de la accesibilidad es mayor. Esta relación entre transporte y usos del suelo implica que las vías de gran capacidad son un elemento capaz de favorecer o limitar el desarrollo de un área, dependiendo también de la situación socioeconómica y de otros factores. En las áreas periféricas, frecuentemente polarizadas, una nueva vía modifica los usos del suelo, sobretudo en las áreas periurbanas más accesibles, hecho que ha de ser tenido en cuenta en la coordinación de las políticas de planificación urbana/territorial y de transporte. La cuantificación de este proceso se ha visto facilitada en los últimos años por la profusión de fuentes de información cada vez más precisas y elaboradas, lo que permite seguir avanzando en las técnicas de análisis. En esta comunicación, tras una breve introducción al impacto territorial y su relación con las infraestructuras de transporte, se estudiarán las ventajas e inconvenientes de las fuentes de información y se recomendarán aquellos tipos de operaciones SIG que facilitan su análisis y la comparación de resultados.

Palabras Clave: impacto territorial; carreteras; usos del suelo; análisis SIG; áreas periféricas.

ABSTRACT

Land use changes related to the spatial impacts of roads are larger in those places with a higher increase in accessibility. The transport and land-use connection implies that high capacity roads are able to favour or limit the development of an area, which also depends on its socioeconomic situation and other factors. In peripheral areas, frequently polarized, a new road has a greater impact on land uses over the most accessible urban fringes. This fact needs to be incorporated in an integrated planning policy of land use and transport. New and more precise and elaborated data sources developed recently help quantifying this process, but more research is needed in relation to the techniques used in the analysis. This paper, after a short introduction to the relationship between spatial impact and transport infrastructures, studies the advantages and disadvantages of modern data sources. Finally, some GIS tools will be recommended in order to favour the spatial analysis and comparisons.

Key Words: spatial impact; roads; land use, GIS analysis; peripheral areas.

APROXIMACIÓN TEÓRICA

Se puede definir el *impacto* como la alteración significativa, bien sea de signo favorable o desfavorable, que se produce sobre el medio como consecuencia de la acción humana (Gómez Orea, 1988; André et al., 2003, entre otros). Trasponiendo este concepto comúnmente utilizado, se entiende por *impacto territorial* de las carreteras los efectos positivos o negativos de cierta magnitud inducidos por la construcción o mejora de las redes de carreteras sobre la distribución espacial de la población, la localización de las actividades y el sistema de asentamientos, cuyos cambios entrañan alteraciones en los usos del suelo, que constituyen la plasmación espacial del impacto territorial.

Como elemento vertebrador del territorio, las carreteras han sido consideradas tradicionalmente como un factor fundamental del desarrollo de las regiones, sin embargo, como señalan numerosos autores lo verdaderamente difícil es discernir qué impactos se deben a la propia infraestructura de transporte y cuáles se derivan de otros factores de índole geográfica, social, económica... capaces de potenciar, minimizar e incluso cambiar de signo los efectos de estas vías.

A este respecto, cabe preguntarse sobre la relación causa-efecto entre transporte y usos del suelo, en tanto éstos reflejan la distribución espacial de la población, los asentamientos y las actividades, así como sobre la magnitud de tales efectos.

En cuanto a la relación de causalidad, el ciclo del transporte y los usos de suelo, expuesto a mediados del siglo XX, supuso una aportación fundamental para comprender la complejidad del problema, al incorporar el concepto de accesibilidad (Wegener, 1995), cuya distribución en el espacio co-determina, junto con otros factores externos, las decisiones de localización, dando lugar a cambios en los usos del suelo.

Sin embargo, a partir de los años noventa, comienza a cuestionarse la solidez de esta relación, abriéndose un debate sobre la vigencia o, por el contrario, la debilidad de esta influencia recíproca (Cervero y Landis (1995) *versus* Giuliano (1995)). En este sentido, algunos autores (Banister, 1995) consideran a las infraestructuras de transporte como un factor secundario en las decisiones de localización de las empresas en las economías desarrolladas. En la misma línea, de las aportaciones de Holl (2004), entre otros autores, podemos deducir que tanto esta relación como el alcance y magnitud del impacto difiere según se trate de un área central o periférica. La clave para que una infraestructura de transporte tenga un efecto sobre el territorio sobre el que discurre es el aumento de accesibilidad que proporciona -además de la existencia de otros estímulos al desarrollo-. Es decir, el impacto no será muy elevado en zonas que ya poseen un alto grado de accesibilidad (zonas centrales), ni donde la accesibilidad sea muy baja (zonas muy periféricas), pero sí en aquellas zonas que, poseyendo una red de transporte que haya permitido un cierto desarrollo, se mejore sustancialmente, ampliando las conexiones ya existentes.

En el contexto español, las regiones periféricas -como es el caso del Área Noroeste-, se caracterizan por la escasa densidad de infraestructuras que revierte en una baja accesibilidad, la fragilidad de la economía, la debilidad de los recursos humanos, y el desequilibrio territorial interno. En los últimos años, la construcción de nuevas carreteras, especialmente de vías de gran capacidad, ha hecho que se hayan aproximado los indicadores de desarrollo entre las áreas centrales de las aglomeraciones urbanas y sus áreas de influencia, pero se ha abierto una brecha mayor respecto a los espacios rurales más profundos. En este proceso, las áreas periurbanas son las que han experimentado un impacto más positivo configurándose como las zonas más dinámicas del sistema territorial: han mejorando notablemente su accesibilidad, aumentado su población e incrementado sus rentas, al constituirse en receptoras de la descentralización de población y actividades desde los nodos centrales, lo que se ha traducido en importantes cambios en los usos del suelo.

Tras esta aproximación de carácter teórico, se exponen a continuación las fuentes de información y las técnicas para medir el impacto territorial de las carreteras a través del análisis de los usos del suelo, haciendo especial hincapié en aquellas que pueden resultar especialmente útiles en áreas periféricas.

LAS FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información disponibles para analizar los usos del suelo, centrándonos básicamente en el ámbito español, responden a tres tipos de datos: por un lado, las ortofotografías, incluyendo tanto las fotografías provenientes de vuelos aéreos como las imágenes de satélite; por otro lado, la cartografía de usos de suelo, derivada en gran parte de la fuente anterior; y por último las fuentes estadísticas, como son los censos oficiales u otras fuentes de información.

Además de incrementar la producción de información, y del avance de las aplicaciones software para su procesamiento y posterior análisis, también se han desarrollado herramientas para facilitar y estandarizar el acceso a la información cartográfica, siendo las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEs) el principal exponente. Estos servicios, que permiten el acceso a la información espacial vía Web y a través del software SIG (me-

dian­te ser­vi­do­res WMS), han sido desar­rolla­dos por entida­des admi­nistrati­vas de diferen­tes nive­les, ha­cien­do nece­sa­ria la crea­ción de catá­lo­gos en línea y de por­ta­les que agru­pen esta infor­ma­ción.

Las ortofotografías

La primera serie de fotografías aéreas del territorio español de forma continua es la correspondiente al vuelo americano (1956-57). Este tipo de fotografías, una vez ortorectificadas y georreferenciadas, permiten actualizar la cartografía básica y constituyen el punto de partida para estudiar la evolución de la cobertura/ usos del suelo, debido a que se trata de la primera fuente fiable que cubre todo el territorio y que tiene una resolución espacial adecuada. De hecho, son muy numerosos los estudios que la utilizan como fuente desde diferentes perspectivas: medioambiental, agraria, urbana, etc.

Posteriormente organismos de ámbito estatal han realizado vuelos que cubren todo el territorio nacional, como el IGN en 1999 (escala 1:10.000) o el proyecto SIGPAC (2002). También las comunidades autónomas han realizado vuelos con la finalidad de obtener cartografía de detalle (1:5.000 - 1:10.000).

El proyecto más reciente, en desarrollo de la directiva INSPIRE de la Unión Europea, es el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), en el que el IGN y las CC.AA. colaboran para actualizar y dar acceso a las fotografías aéreas de todo el territorio. El PNOA, cuya ejecución comenzó en 2004, tiene como objetivo generar ortofotografía aérea y un modelo digital del terreno con una elevada resolución espacial (0,5 m.) y actualización cada dos años (IGN, 2004). En cumplimiento de la Orden FOM/956/2008, la IDEE ofrece las ortofotografías actualizadas del PNOA en su portal Web y a través del servidor WMS, aunque no la serie temporal.

A pesar de las múltiples ventajas que ofrecen las fotografías aéreas, lo cierto es que su elevado coste, tanto de generación como de procesamiento para su difusión, hacen que el periodo de actualización sea demasiado largo, de ahí que las imágenes de satélite sean el producto que poco a poco están sustituyéndolas, si bien las fotografías aéreas tienen características, como la ausencia de nubosidad o la elevada resolución espacial, que las hacen un complemento fundamental, sobre todo en relación con las imágenes satelitales más antiguas.

La primera serie de satélites que ofrece imágenes de todo el planeta a una escala media (1:200.000-1:100.000) son los Landsat, que comienzan su andadura en los años 1970. Desde entonces tanto estos satélites como los de otras iniciativas han mejorado sensiblemente la resolución espacial, espectral y temporal de las imágenes, aunque también ha aumentado su precio. En la siguiente tabla, que recoge las principales características de los satélites con sensores ópticos, puede verse esta evolución.

Tabla 1. Imágenes ópticas satelitales para analizar los usos del suelo.

Año lanzamiento	Nombre satélite	Res. espectral *	Res. espacial (orto)	Disponibilidad (productos ortorectificados)
1972	Landsat MSS	M	60 m	Descarga libre. (GLCF. ESDI.)
1984	Landsat TM	M	30 m	Descarga libre. (GLCF. ESDI.)
1986	SPOT	M	20 m	Mitad sur peninsular y Baleares en servidor WMS (IDEE). 0,69 €/km ² aprox. (SPOT Image).
		P	10 m	
1988	IRS	M	5 m	\$0,80 / km ² aprox. (Land Info).
		P	5 m	\$0,80 / km ² aprox. (Land Info).
1999	Landsat ETM	M	30 m	Descarga libre. (GLCF. ESDI.) Año 2000. Descarga libre (JRC)
		P	15 m	Descarga libre. (GLCF. ESDI.) Año 2000. Descarga libre (JRC)
2000	IKONOS	M	4 m	\$30 / km ² aprox (European Space Imaging).
		P	1 m	\$30 / km ² aprox (European Space Imaging).
2000	KOMPSAT-1 y 2	M	4 m	Libre en Internet previo registro como “Categoría 1” (investigación) en la Agencia Espacial Europea (ESA).
		P	1 m	
2001	Quickbird	M	2,4 - 2,8 m	\$16 – \$21 / km ² (GeoServe).

Año lanzamiento	Nombre satélite	Res. espectral *	Res. espacial (orto)	Disponibilidad (productos ortorectificados)
		P	0,6 - 0,7 m	\$16 - \$21 / km ² (GeoServe).
2001	PROBA	M	20 m	Libre en Internet previo registro como "Categoría 1" (investigación) en la Agencia Espacial Europea (ESA). Para uso comercial también puede consultarse el precio en la página de la ESA.
		P	5 m	
2003	IRS-P6	M	5,8 m	
2006	ALOS	M	10 m	
		P	2,5 m	

* Nota: M: multispectral. P: pancromático.

Fuente: EP. a partir de: Molina (2005); Telespazio, www.telespazio.it; Global Land Cover Facility, www.landcover.org; SPOT Image, www.spotimage.fr; IDEE, www.idee.es; JRC Image 2000 & Corine Land Cover 2000, image2000.jrc.it; Land Info www.landinfo.com/IRS.htm; Agencia Espacial Europea, www.esa.int; European Space Imaging, www.euspaceimaging.com; Geoserve, www.geoserve.nl/.

El estudio de la evolución de usos del suelo exige la disponibilidad de una serie que cubra un periodo amplio, puesto que los cambios en los usos del suelo se producen a lo largo de varios años desde que se proyecta o construye una carretera. Sin embargo las imágenes de satélite de gran resolución espacial aún no cumplen este requisito, por lo que las procedentes de satélites Landsat -de libre disposición-, SPOT o IRS-relativamente baratas- son las de uso más corriente. A menudo se complementa la insuficiente resolución espacial para discriminar determinados usos con imágenes del satélite IKONOS o con fotografías aéreas.

Uno de los principales inconvenientes de las imágenes de satélite es la cobertura nubosa. La solución a este problema ha venido por dos vías diferentes: por un lado gracias al aumento de la resolución temporal de los satélites más jóvenes, y por otro lado con la mejora de la resolución espacial de los sensores radar. En efecto, si bien las imágenes procedentes de radar tradicionalmente no han sido aptas para la caracterización del espacio urbano, especialmente en las ciudades europeas, por su alta densidad de edificios y estructura irregular (Dell'aqua y Gamba, 2001), los satélites lanzados recientemente incorporan sensores que superan la resolución espacial de sus predecesores. En la siguiente tabla se presentan las principales características y disponibilidad de las imágenes de radar.

Tabla 2. Principales características de las imágenes satelitales radar.

Año lanzamiento	Nombre satélite	Banda	Resolución espacial (orto)	Disponibilidad (producto con mayor precisión)
1991	ERS	Banda C	25 m	0,03€ / km ² (Spot Image).
1995	RADARSAT - 1	Banda C	8 - 25 - 30 m	\$CAD 1,8 - 0,45 - 0,20 / km ² Anterior a 2001: \$CAD 0,60 - 0,15 - 0,06 / km ² (MDA)
2002	ENVISAT	Banda C	25 m	0,05€ / km ² (Spot Image).
2006	ALOS	Banda L	10 - 100 m	50€ - 75€ / escena (Registro como Categoría 1. ESA).
2007	TerraSAR-X	Banda X	1 - 3 - 16 m	67,5€ - 1,75€ - 0,12€ / km ² (Spot Image).
2007	RADARSAT - 2	Banda C	3 - 8 - 25 - 30 m	\$CAD 15,75 - 1,8 - 0,45 - 0,20 / km ² (MDA).
2007	COSMO/SkyMed	Bandas C, D, X y S	1 - 100 m	Disponible a partir de verano de 2008 (e-GEOS).

Fuente: EP. a partir de: e-GEOS COSMO-SkyMed, www.e-geos.it; SPOT Image, www.spotimage.fr; Agencia Espacial Europea, www.esa.int; MDA Information Products, www.mdacorporation.com

Todas estas fuentes de información permiten la clasificación de los usos del suelo y el análisis de su evolución temporal. Esta clasificación puede realizarse mediante digitalización manual a partir de las diferencias texturales de la imagen, o mediante el análisis automatizado, supervisado o no, de píxeles con programas de trata-

miento de imágenes compatibles con software SIG. En cualquier caso, se debe contar con información auxiliar, como diversos tipos de imágenes y fuentes cartográficas (mapas topográficos, catastro, cultivos y aprovechamientos, etc.).

La cartografía de usos del suelo

En ocasiones, por motivos de tiempo, de presupuesto o metodológicos (para facilitar la comparación con otros estudios) es preferible optar por la utilización de cartografía de usos del suelo elaborada por organismos oficiales. Las principales ventajas de esta fuente de información son que se trata de productos estandarizados, con programas de actualización y elaborados con una metodología robusta.

El proyecto europeo más destacado es el Corine Land Cover (CLC), desarrollado a partir de la Agencia Medioambiental Europea (EEA en sus siglas en inglés), cuyo objetivo es clasificar el suelo europeo en función de su cubierta. Hay que destacar que la categoría de “superficies artificiales” discrimina diferentes usos urbanos en los niveles 2 y 3 de la jerarquía. Además, la metodología prevé una desagregación incluso mayor en cada país de acuerdo a sus características propias, de modo que en el caso de España se añaden algunas categorías en el nivel 5. Concretamente, dentro de las “superficies artificiales”, donde se integran los usos urbanos, se añaden las siguientes categorías (en *cursiva*):

- 1.1.2. Tejido urbano discontinuo
 - 1.1.2.1. *Estructura urbana laxa*
 - 1.1.2.2. *Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas*
- 1.2.2. Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados
 - 1.2.2.1. *Autopistas, autovías y terrenos asociados*
 - 1.2.2.2. *Complejos ferroviarios*

La clasificación completa puede consultarse en Del Bosque et al. (2004: 3), y el nivel 5 de la leyenda en España está disponible a través de la aplicación habilitada por el IGN (visor Web y servidor WMS).

Son numerosas las investigaciones que utilizan la base de datos del CLC como base, a menudo en conjunción con otras fuentes, para el análisis de múltiples factores espaciales, como los hábitats, los incendios, las islas de calor, la expansión urbana (Meinel et al., 2005; Simón y Hernández, 2008), etc.

Las limitaciones del CLC para el análisis de los usos del suelo tienen que ver con la resolución espacio-temporal: escala del producto 1:100.000, actualización inicial cada diez años (reducida a 6 años en la actualidad) y unidad mínima cartografiada 25 Ha. (5 Ha. para los cambios de superficie continua entre 1990 y 2000). Estas características hacen del CLC una fuente adecuada para estudios a escala regional o superior, pero en proyectos de escala intrarregional o local se hace necesaria una precisión mayor.

En este sentido, y con el objetivo de integrar las diferentes bases de datos sobre ocupación del suelo que existen en España, el IGN coordina la elaboración del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España (SIOSE) apoyándose en la red EIONET (entidad asociada de la EEA encargada de asistir la colección y organización de la información y su desarrollo y difusión). Concretamente, el SIOSE consiste en una base de datos geográfica en la que, cumpliendo con los estándares del OGC y de las normas ISO, se están cartografiando los usos del suelo a escala 1:25.000 a partir de imágenes SPOT y Landsat TM complementadas con las ortofotos del PNOA. La frecuencia de actualización es cada 5 años y las unidades mínimas cartografiadas varían entre 0,5 y 2 Ha. según el tipo de uso.

Además de las ventajas antes señaladas, es de destacar que la clasificación de usos que establece el CLC sirve de referencia para los trabajos que requieren la elaboración de mapas propios bien porque la resolución espacial no sea la adecuada (Serrano et al., 2006) o bien porque se quiera ampliar el periodo de estudio, hasta donde permiten las imágenes satélite, y el ámbito espacial, como en el proyecto Lacoast (Ezquerria et al., 1998).

Las fuentes de datos estadísticas

Para conseguir análisis que se aproximen más a la realidad territorial es frecuente la combinación de información geográfica (imágenes o mapas) con información estadística (ej. Wassmer, 2000; Song y Knaap, 2004). En esta comunicación nos vamos a centrar en los datos ofrecidos por el Instituto Nacional de Estadística (INE) por ser el órgano estadístico de referencia que cubre todo el territorio estatal de forma homogénea.

Los Censos de población y vivienda constituyen la serie estadística más completa del INE, en tanto forman parte de una serie a nivel municipal que se inicia en 1900 y se actualiza cada 10 años. De forma complementaria, el Nomenclátor recoge desde 1858 el número de habitantes y de viviendas de cada entidad de población. Por otra parte, con datos agregados por municipios y periodicidad decenal, el Censo agrario, iniciado en 1962, también es una serie estadística de referencia.

La IDEE incorpora la base cartográfica del INE, mientras que gran parte de la información alfanumérica puede descargarse desde la página Web del INE, concretamente la información referente a los Censos de población (excepto el de 1981, que sólo está disponible en formato papel), el Nomenclátor desde el año 2000 (sólo población) y el Censo agrario desde 1999. Esto implica que es necesario contar con software SIG para integrar ambos tipos de datos.

A lo largo del siglo XX los sucesivos Censos de población se han complementado con información referente a las viviendas, a la actividad de las personas según el municipio de residencia y, de forma más reciente, a la actividad de los locales o centros de trabajo de cada municipio. También se ha incrementado el nivel de detalle, de modo que en el último Censo (2001) está disponible toda la información por distritos y secciones censales.

Dentro de las múltiples variables que ofrecen las fuentes mencionadas hemos seleccionado las más adecuadas para estudiar el impacto territorial.

La población de derecho está disponible a escala municipal en los censos de población desde 1960. El estudio de esta variable permite conocer si la distribución espacial de la población está relacionada con la accesibilidad, y si su dispersión es donde la densidad de la red de carreteras le proporciona una accesibilidad más elevada. El Nomenclátor es una fuente complementaria de gran utilidad en territorios con muchos núcleos de población y especialmente si la escala de trabajo es infrarregional.

Por otro lado, la población ocupada por sectores de actividad, que hace referencia al número de personas que trabajan en cada sector, está disponible a partir del Censo de población y viviendas de 1991. El objetivo es determinar si los centros de actividad se localizan en las áreas más accesibles o que más incrementan su accesibilidad. Sin embargo, la localización de la población ocupada se refiere al municipio de residencia, lo que no se corresponde necesariamente con la de los centros de trabajo, especialmente en aglomeraciones urbanas con importantes desplazamientos residencia-trabajo entre municipios cercanos. Afortunadamente el censo de 2001 incorpora dos nuevas variables relacionadas con el empleo que deben de ser tenidas en cuenta: el número de locales y el número de trabajadores por tipo de actividad, ambos datos referidos al municipio en que se ejerce la actividad.

La información del número de viviendas está disponible a escala municipal en todos los censos de población y viviendas y a escala de núcleo en los Nomenclátor. Esta variable nos ofrece información sobre la distribución de la oferta de viviendas, y permite por tanto analizar si el crecimiento urbano residencial es más relevante en las zonas más accesibles o que más accesibilidad ganan con la construcción de una nueva vía.

Por otra parte, el Censo agrario ofrece información relevante referida al sector primario, que debe ser analizada especialmente en áreas donde este sector tiene un marcado significado en la estructura económica como ocurre frecuentemente en las áreas periféricas. Las variables más relevantes a analizar son el número de explotaciones y la Superficie Agraria Útil (SAU), puesto que permiten observar si la tendencia es hacia la concentración en explotaciones de tamaño cada vez mayor, o si por el contrario se trata de una actividad estancada.

Los datos obtenidos de los Censos pueden complementarse con otras fuentes, como el Padrón de habitantes, actualizado anualmente, u otras de ámbito regional o local que contengan datos de interés, como las licencias municipales o las licencias fiscales recogidas en los Anuarios Económicos de algunas CC.AA.

TÉCNICAS PARA MEDIR EL IMPACTO TERRITORIAL EN ÁREAS PERIFÉRICAS

Con el objetivo de combinar eficientemente la información espacial y estadística, para después aplicar técnicas de análisis espacial, trataremos de asignar de la mejor manera posible, teniendo en cuenta los diferentes orígenes y formatos, la información estadística, relevante por cuanto permite cuantificar los procesos territoriales, con la información espacial, que muestra la dimensión espacial de dichos procesos. Vamos a dejar aparte el proceso de digitalización de las imágenes aéreas o de satélite ya que existe abundante literatura científica que evalúa diferentes métodos (por ejemplo, Baraldi y Parmiaggiani, 1990; Mundia y Aniya, 2005 o Steiniger et al., 2008) y nos vamos a centrar en la integración de la información una vez que ha sido procesada y está preparada para el análisis en un entorno SIG.

La metodología que describimos a continuación se basa en la experiencia adquirida en las investigaciones realizadas sobre el impacto de las carreteras en el área noroeste de España, y se refiere a la escala regional e intrarregional. Parte de la información estadística existente en la actualidad, siendo conscientes de que hasta dentro de unos años no habrá una serie consistente que permita analizar la evolución. De manera esquemática, los pasos previos al análisis multivariable SIG propiamente dicho, con el objetivo de solventar el problema de la unidad espacial modificable (PUEM), serían los siguientes:

1. Definir el hábitat humano, es decir, excluir, con ayuda de un MDT y de imágenes aéreas o de satélite, las zonas no habitables (por ejemplo las de alta montaña). Los resultados del análisis están influidos por el tamaño del área de estudio en relación con el del hábitat (Bachi, 1999).
2. Adaptar el CLC a la escala espacio-temporal de trabajo apoyándose en imágenes aéreas o de satélite, cartografía auxiliar y trabajo de campo, según la escala. Delimitar las entidades de población y seleccionar las categorías más significativas.
3. Asignar a cada núcleo la población y viviendas que le corresponde según el Nomenclátor.
4. Asignar a cada núcleo los locales y población que trabaja en el mismo. Si no existe el dato se puede estimar, por ejemplo, a partir del peso poblacional de cada núcleo en el municipio (en municipios urbanos los datos por secciones censales ayudarán a ser más precisos). Hay que ser consciente de las imprecisiones que acarrea este paso.
5. Transformar las capas de información en formato raster, adaptando el tamaño de píxel a la escala y nivel de detalle del estudio y asignar los valores correspondientes a cada píxel para cada variable:
 - Distribuir el valor del núcleo entre las celdas que lo integran, para lo que es necesario establecer un criterio previo respecto a las celdas de los bordes.
 - Distribuir la población diseminada entre las celdas del hábitat que no pertenecen a núcleo.

Llegado a este punto debe plantearse qué indicadores pueden utilizarse en las áreas periféricas. Hay que tener en cuenta que de manera general estas áreas cuentan con una red de carreteras polarizada y con un considerable retraso en su desarrollo, que es consecuencia, y a la vez fomenta, no solo la propia periféricidad del área, sino el desequilibrio territorial característico de estas áreas, en forma de polarización de la población, de los asentamientos y de las actividades en torno al espacio que más accesibilidad ha acumulado, y dejando grandes vacíos en las zonas menos accesibles de la región. La existencia de estos dos tipos de espacios, separados por diferentes áreas de transición, justifica la necesidad de abordar la medida del impacto de las carreteras sobre el territorio desde la escala local, puesto que el comportamiento territorial será diferente en función del tipo de espacio de que se trate.

A la limitación impuesta por la disponibilidad de información hay que añadir que en la literatura científica no se han desarrollado indicadores específicos para medir el impacto territorial de las carreteras, y tampoco índices o técnicas especialmente diseñadas para analizar las áreas periféricas, por lo que a continuación se expone una selección de los indicadores que resultan particularmente útiles para definir las características de estas áreas.

En primer lugar, el análisis de los centros medios ponderados de diferentes variables complementado con la lectura de bibliografía general sobre el área de estudio permite obtener una visión global de las principales tendencias de la localización de la población y actividades del área de estudio, que ayudará considerablemente a

interpretar los indicadores de carácter local, que se adentran en las diferencias internas de la región y que se proponen en los siguientes párrafos.

Profundizando en el análisis espacial, de las múltiples técnicas existentes cabe mencionar que las de mayor difusión reciente son las referentes al análisis del patrón de distribución espacial, a la autocorrelación espacial y al análisis de los usos del suelo, si bien cada una tiene sus propias limitaciones que hacen recomendable su combinación.

Dentro de las diferentes opciones disponibles en el análisis del patrón de distribución espacial, se ha seleccionado la estimación de kernel (Bailey y Gatrell, 1995) porque en la elaboración del resultado cartográfico, para calcular el valor de cada celda o píxel, se tiene en cuenta el valor propio y los de las celdas vecinas. Los mapas resultantes permiten visualizar fácilmente la dirección de las áreas de mayor intensidad del fenómeno estudiado.

Como complemento, se ha elegido la representación de la autocorrelación espacial utilizando el índice $G_i^*(d)$ desarrollado por Getis y Ord (1992). Se ha seleccionado este indicador por ser especialmente útil para mostrar la asociación de valores altos y bajos en relación con las características de las áreas periféricas. Como el indicador anterior, tiene en cuenta el valor del punto que esté analizando y el de los vecinos. La relación de la localización de la variable estudiada con las zonas de mayor densidad y jerarquía de la red de carreteras se observa fácilmente al aplicar una graduación de colores desde los tonos fríos a los cálidos, siendo éstos últimos los que indican una mayor autocorrelación espacial positiva. Para la comparación entre diferentes ámbitos de estudio pueden utilizarse indicadores globales de autocorrelación espacial (coeficiente de Moran, ratio de Geary y test G).

Por otra parte, para analizar la evolución de la red de asentamientos, puede utilizarse la regla rango-tamaño que, en base a la variable población, permite establecer la jerarquía de los núcleos urbanos. Un cambio en esta estructura jerárquica antes y después de la construcción de una vía de gran capacidad implicaría un fuerte impacto sobre las relaciones territoriales del ámbito de estudio.

Finalmente, la utilización de la cartografía de usos del suelo permite conocer con precisión dónde se ha desarrollado suelo urbano residencial y productivo, y deducir qué lugares serán más susceptibles de experimentar un desarrollo similar. La utilización de un SIG permite la contabilización de la expansión del suelo urbano que se haya producido en un radio de, por ejemplo, 3,5 y 5 km. de las vías de gran capacidad, y su relación con la superficie desarrollada fuera de los corredores definidos.

La combinación de estos indicadores permite valorar la relación existente entre la red de carreteras y el territorio, y su comparación en diferentes momentos temporales o con otros espacios periféricos. Un territorio será más dependiente de la red de carreteras cuanto más desplazados estén sus centros ponderados de población, actividades y vivienda hacia la zona de mayor densidad de red respecto al centro geográfico, será más desequilibrado cuanto mayor diferencia haya entre la densidad de los fenómenos estudiados en el entorno de las carreteras respecto a las zonas menos accesibles, cuanto mayores sean los valores de autocorrelación espacial en los municipios mejor comunicados por carretera, cuanto más destaque el núcleo o los núcleos mejor conectados sobre los demás en la jerarquía urbana y cuanto más diferencia haya entre la superficie desarrollada en el periodo analizado en el entorno de las vías de gran capacidad respecto al resto del territorio. En los espacios donde estos valores sean elevados, el impacto de una nueva carretera sobre el territorio será mayor y, según donde se localice, fomentará la polarización o el equilibrio territorial.

Además de los indicadores señalados, la información de los mapas temáticos de usos del suelo puede analizarse también por procedimientos como los descritos por Gustafson en 1998, quien define varios métodos para medir el patrón espacial de estos mapas: la composición, configuración espacial, índices de vecindad y *lagunaridad*. Ésta última es una línea de investigación recuperada recientemente (ej. Escolano, 2007) en la que, junto al estudio de métodos fractales (Herold et al., 2002), sería conveniente profundizar.

CONCLUSIONES

Para obtener una visión global del impacto territorial que genera una vía de comunicación es preciso combinar diferentes fuentes de información y herramientas de análisis.

El impacto territorial de las carreteras es diferente en función del tipo de área por el que discurra, hecho que es particularmente destacable en las áreas periféricas debido a su estructura polarizada. En este sentido, las técnicas de análisis SIG que resultan más apropiadas son aquellas que permiten una mejor discriminación entre los valores altos y bajos y su distribución espacial.

Finalmente, queremos destacar que en los últimos años no sólo se han incrementado y mejorado las fuentes de información para el análisis espacial, sino que se están invirtiendo muchos esfuerzos en facilitar su difusión. El reto ahora es disponer de series temporales completas y homogéneas de las diferentes variables y datos geográficos que permitan seguir avanzando en esta línea de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo recoge parte de los resultados del proyecto de investigación “Una metodología para evaluar los efectos de las redes de carreteras en áreas periféricas” financiado por Mº de Fomento, Convocatoria I+D Transportes (T25/2006).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- André, P.; Delisle, C. E. y Revéret, J-P. (2003): *L'évaluation des impacts sur l'environnement. Processus, acteurs et pratique pour un développement durable*. 2ª ed. École Polytechnique de Montréal, Montreal, 519 pp.
- Bachi, R. (1999): *New methods of geostatistical analysis and graphical presentation. Distributions of populations over territories*. Kluwer Academics / Plenum Publishers, New York, 478 pp.
- Bailey, T. C. y Gatrell, A. C. (1995): *Interactive spatial data analysis*. Prentice Hall. Pearson Education, Harlow (Inglaterra), 413 pp.
- Banister, D. (Ed.) (1995): *Transport and Urban Development*. E & FN Spon, Londres, 294 pp.
- Baraldi, A. y Parmiggiani, F. (1990): Urban area classification by multispectral SPOT images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing*, 28 (4): 674-680.
- Cervero, R. y Landis, J. (1995): The transportation-land use connection still matters. *Access*, 7: 2-10.
- Del Bosque González, I.; Arozamena Villar, A.; Villa Alcázar, G. y Porcuna Fdez-Monasterio, A. (2004): Actualización de la Base de Datos CORINE LAND COVER. “PROYECTO I&CLC2000”. *VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía TOPCART 2004*, pp. 1-18.
- Dell'aqua, F. y Gamba, P. (2001): Evaluation of COSMO/SkyMed SAR data for urbana rea characterization. *IEEE/ISPRS Joint Workshop on remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, pp. 141-144.
- Escolano Utrilla, S. (2007): La medida de la segregación residencial urbana: análisis multiescala mediante índices de lagunaridad. *GeoFocus (Artículos)*, 7: 216-234.

- Ezquerria Canalejo, A.; Moreno Cuesta, E. y Urbano López de Meneses, J. (1998): Proyecto Lacoast. Cambios en la cobertura del suelo en las costas europeas. *Observatorio medioambiental*, 1: 201-219.
- Getis, A. y Ord, J. K. (1992): The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis*, 24: 189-206.
- Giuliano, G. (1995): The weakening transportation-land use connection. *Access*, 6: 3-11.
- Gómez Orea, D. (1988): Evaluación de impacto ambiental (EIA). *Ciudad y territorio*, 75: 5-32.
- Gustafson, E.J. (1998): Quantifying landscape spatial pattern: what is the estate of the art?. *Ecosystems*, 1: 143-156.
- Holl, A. (2004): Manufacturing location and impacts of road transport infrastructure: empirical evidence from Spain. *Regional Science and Urban Economics*, 34: 341-363.
- IGN. (2004): Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. *Boletín informativo del Instituto Geográfico Nacional*, 17: 4-5.
- Meinel, G. y Winkler, M. (2005): Long-term investigation of urban sprawl on the basis of remote sensing data. Results of an international city comparison. *24th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSL)*, Dubrovnik, Croacia, pp. 653-661.
- Molina M., G.Z. (2005): Propuesta metodológica para estudios de dinámica de uso urbano utilizando la teledetección: Maracay, estado Aragua-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 46 (2): 195-234.
- Mundia, C.N. y Aniya, M. (2005): Analysis of land use/cover changes and urban expansion of Nairobi city using remote sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (13): 2831-2849.
- ORDEN FOM/956/2008, de 31 de marzo, por la que se aprueba la política de difusión pública de la información geográfica generada por la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional. *Boletín Oficial del Estado*, 85: 19138-19140.
- Serrano, M. M.; Gago, C. y Antón, F.C. (2006): *Impacto territorial de las carreteras orbitales en la Comunidad de Madrid*. Compañía Española de Reprografía y Servicios, Madrid, 233 pp.
- Simón Rojo, M. y Hernández Aja, A. (2008): Relaciones entre el cambio de modelo urbano-territorial y consumo de suelo en los municipios españoles. *I Congreso Urbanismo y Ordenación del Territorio "Ciudad y Territorio"*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CD-Rom), pp. 1-19.
- Song, Y. y Knaap, G-J. (2004): Measuring urban form. *Journal of the American Planning Association*, 70 (2): 210-225.
- Steiniger, S.; Lange, T.; Burghardt, D. y Weibel, R. (2008): An approach for the classification of urban building structures based on discriminant analysis techniques. *Transactions in GIS*, 12 (1): 31-59.

Wassmer, R.W. (2000): Urban sprawl in a U.S. Metropolitan Area: Ways to measure and a comparison of the Sacramento area to similar metropolitan areas in California and the U.S. *Working paper WPO0RW1*, Lincoln Institute of Land Policy, 18 pp.

Wegener, M. (1995): Accessibility and development impacts. En: Banister, D. (Ed.), *Transport and urban development*. E&FN Spon, Londres, pp. 157-161.

Parreño Castellano, J.M. y Domínguez Mujica, J. (2008): Los patrones biodemográficos de la extranjería en Canarias desde una perspectiva microescalar. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 381-395. ISBN: 978-84-96971-53-0.

LOS PATRONES BIODEMOGRÁFICOS DE LA EXTRANJERÍA EN CANARIAS DESDE UNA PERSPECTIVA MICROESCALAR

Parreño Castellano, J.M. y Domínguez Mujica, J.

Departamento de Geografía, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. C/Pérez del Toro, 1. 35003, Las Palmas de Gran Canaria.
jparreno@dgeo.ulpgc.es, jdominguez@dgeo.ulpgc.es

RESUMEN

La información geodemográfica a microescala y los Sistemas de Información Geográfica se han convertido en herramientas metodológicas de gran interés para los estudios de la población. En este sentido, nuestra aportación se centra en el reconocimiento más preciso de las áreas donde se está concentrando la población extranjera en Canarias, a partir de la utilización de la sección censal como unidad de análisis. Asimismo, se esbozan los principales factores de localización y se realiza una diferenciación social de este espacio en función de la nacionalidad, la edad y el sexo de los extranjeros empadronados. Como resultado de ello se obtiene un mapa cuantitativo y cualitativo de la inmigración en las Islas, que pone de manifiesto una serie de características: la localización concentrada de dichos colectivos, su distribución territorial, la coexistencia de dos procesos migratorios, uno laboral y otro residencial y la incidencia de la extranjería en la estructura por edad y sexo de la población del Archipiélago y en sus distintas unidades territoriales.

Palabras Clave: inmigración, microanálisis; geodemografía, SIG y diferenciación social del espacio.

ABSTRACT

The geodemographic information in microscale and the Geographical Information Systems have turned into interesting methodological tools for the population studies. In the same way, our contribution is focused on the more precise recognition of the areas where the foreign population is placed in the Canary Islands using the census areas as a spatial analysis unit. We also outline the main location factors and carry out a social differentiation according to foreigners' nationality, age and gender. As a result, we obtain a quantitative and qualitative map of the immigration in the Islands which shows some outstanding characteristics: the foreigners' concentrated location, the spatial cohabitation of two migratory processes, both labour and residential, and the general effect of the immigration on the ageing and the sex ratio of the population in the Canary Islands and in their different spatial units.

Key Words: immigration, microanalysis; geodemography, GIS and space social differentiation.

INTRODUCCIÓN

Canarias ha sido una de las Comunidades Autónomas españolas en las que más intensidad ha adquirido recientemente la inmigración exterior. Aunque la extranjería no se puede considerar un fenómeno nuevo en el Archipiélago, en los últimos años la atracción de población procedente de otros países ha alcanzado una mayor dimensión. A la llegada de foráneos procedentes de Europa occidental, desde los años setenta, por motivaciones residenciales o laborales, vinculadas a la actividad turística, y de otros provenientes de orígenes más exóticos (palestinos, hindúes, coreanos, etc.), se ha sumado el retorno de antiguos emigrantes, así como una inmigración generalizada de todo origen y condición, propia de la globalización de las migraciones humanas.

Según datos del Censo, en 1991 residían en Canarias unas 32.000 personas de nacionalidad extranjera, lo que representaba alrededor del 2,1 por ciento de la población. En esa misma fecha, en España, tan sólo el 0,9 por ciento de los residentes era extranjero. Sin embargo, a medida que avanza la última década del siglo XX y la

primera del siglo XXI, el ritmo de establecimiento de extranjeros se acelera. El avance de la explotación estadística del Padrón de 2008 informa de un 13,6 por ciento de extranjeros en Canarias (282.004 personas), a fecha de uno de enero de este año, al mismo tiempo que en España se ha alcanzado la cifra de 11,3 por ciento (5.220.557 personas). En el Archipiélago, la mayor parte de este contingente de extranjeros está constituido por alemanes (39.376), británicos (37.789) e italianos (24.090), entre los europeos; colombianos (21.541), venezolanos (11.868), cubanos (11.006) y argentinos (10.065), entre los latinoamericanos, y marroquíes (16.055) entre los africanos, aunque en las Islas residen extranjeros de más de 200 nacionalidades.

La acelerada arribada de extranjeros a las Islas y la diversidad de nacionalidades nos informa de la coexistencia de diferentes procesos migratorios. Por este motivo resulta de gran interés conocer con más precisión la distribución territorial de la extranjería en Canarias y sus principales características socio-territoriales.

El desarrollo de los sistemas de información geográfica permite sistematizar la generación de grandes volúmenes de información demográfica, de tal forma que se pueden realizar geografías a diferentes escalas de análisis, incluyendo la de carácter micro. Esta última resulta definitiva en la caracterización de un proceso multidimensional, cual es el de la extranjería.

Por tanto, el objetivo de esta aportación se centra en la caracterización del mapa de la inmigración de Canarias a microescala, para desvelar los procesos de diferenciación demográfica y caracterizar la dimensión espacial de un fenómeno que, en clara sintonía con su carácter reciente, intenso y dinámico, queda aún indefinido en muchas de sus facetas geográficas¹.

Con este fin, se ha diseñado un sistema de información geodemográfica que incorpora los datos del Padrón de 2006 a nivel de secciones censales. Dado que esta unidad administrativa aglutina a una población que no suele superar las 2.500 personas, el análisis de esta información permite la delimitación precisa del impacto territorial de la extranjería en las Islas y la diferenciación socioterritorial del colectivo de extranjeros, para lo que se han tenido en cuenta las variables biodemográficas de la nacionalidad, el sexo y la edad, variables que informan, de una manera clara, de los procesos y las realidades inmigratorias del Archipiélago.

La caracterización territorial del contingente de extranjeros es una pieza clave en el conocimiento socioespacial del Archipiélago y en la puesta en marcha de cualquier iniciativa de planificación o de intervención en políticas de integración.

En este artículo, y tras la exposición de una primera parte de carácter conceptual, se aborda una segunda parte, de carácter metodológico, sobre las fuentes, las escalas y el método de trabajo desarrollado. En una tercera, se analiza el contexto de la significación del fenómeno de la extranjería en Canarias y, en la última, se delimitan los territorios de la inmigración y se procede a su caracterización biodemográfica, en la convicción de que la estructura por sexo y edad, además de ser una consecuencia del pasado demográfico, condiciona el desarrollo futuro de toda población, ya que los contrastes territoriales que ofrece han de ser considerados en los estudios acerca del mercado de trabajo, la productividad económica, y las necesidades y equipamientos socioasistenciales de carácter educativo, sanitario, etc. (Reques Velasco, 2006).

ANTECEDENTES

La preocupación por la distribución espacial de los grupos sociales se remonta a principios del siglo XX. Los primeros estudios que abordaron los procesos de diferenciación social del espacio fueron realizados por geógrafos y sociólogos vinculados a la ecología humana de la Escuela de Chicago, y supuso la generación de modelos de estructura urbana basados en principios como los de competencia o dominancia (Basset y Short, 1980).

¹ Este texto adelanta algunos resultados del proyecto de investigación: “Repercusiones socioeconómicas y territoriales de la vivienda de la población extranjera en Canarias” (PI042005/127), dirigido por Josefina Domínguez Mujica y financiado por la Dirección General de Universidades e Investigación de la Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias.

Un interés más preciso por la distribución espacial de los extranjeros aparece tempranamente en los modelos deductivo-positivistas de finales de los años cuarenta de E. Shevsky, M. Williams y W. Bell (Shevsky y Bell, 1955), al introducir el estatus étnico o la movilidad migratoria como factores de diferenciación de áreas sociales homogéneas.

Tras estos primeros antecedentes, proliferaron de un modo creciente los estudios sobre los factores que explican la distribución territorial de inmigrantes y extranjeros, en la medida en que se activaban los flujos migratorios internacionales. En este sentido, la desagregación de la población extranjera en unidades territoriales ha sido una constante a la hora de analizar su diferenciación socio-territorial. Esta desagregación ha llegado en ocasiones al nivel de la microescala, a partir de los análisis que destacan las diferencias introducidas por el estatus económico y el mercado de trabajo (Berry y Kasarda, 1977; Kempen, 2004), las aproximaciones culturalistas que relacionan modelos residenciales con características culturales de las diferentes nacionalidades (Rapoport, 1977; McDonogh, 1977; Leitner, 1992), los enfoques que vinculan nacionalidad y mercado de la vivienda (Rex, 1967; Leal, 2002; Bayona i Carrasco, 2007) y los estudios que establecen los oportunos paralelismos entre política social y habitacional con extranjería (Kesteloot, 1986; Amersfoort, 1990; Deurloo y Musterd, 1998; Bolt et al, 2002). Más recientemente la diferenciación socio-territorial se está realizando desde las consecuencias que genera el proceso de globalización económica (Kempen y Ozüekren, 1998; Wacquant, 2001; Kempen, 2007).

También se ha abordado en muchos trabajos el análisis de la diferenciación social del espacio a partir del estudio de la segregación residencial por nacionalidad, un fenómeno que han intentado medir y explicar una serie de autores (Petsimeris, 1995 y 1998; Friedrichs, 1998; Giffinger, 1998; Peach, 1998, Martori et al, 2006).

La mayoría de estos enfoques se ha centrado en la segregación que introduce la nacionalidad o la raza y el estatus económico, mientras que la diferenciación biodemográfica, es decir, según edad y género de los extranjeros, ha sido abordada en muy pocos casos (Rhein, 1988; Ocaña, 2005). Esta última temática, sin embargo, es uno de los ejes fundamentales de esta comunicación, ya que se advierte una importante diferenciación biodemográfica de la población extranjera en Canarias, en términos comparados con respecto a la que caracteriza la población local y ello tiene una indudable repercusión en la estructura demográfica y socioeconómica de las distintas unidades territoriales.

METODOLOGÍA

La caracterización de la población extranjera se ha realizado a partir de la explotación del Padrón de Población de 2006. La utilización de esta fuente administrativa no debe hacernos olvidar algunos de los problemas que presenta, en particular en lo que respecta a la población extranjera. Se trata de problemas derivados de su cobertura y fiabilidad, de los criterios de clasificación establecidos y de los cambios legislativos que han afectado directa o indirectamente al recuento de personas de nacionalidad extranjera o a la propia condición de extranjería.

Es más frecuente que se produzca una cierta subinscripción en el colectivo de población extranjera que en el del conjunto de la población, a consecuencia de la ausencia voluntaria de registro. Ello se debe a la situación de irregularidad de algunos inmigrados, a razones de multiresidencialidad, en el caso de los extranjeros que se asientan en Canarias por razones de ocio, y a las situaciones de desajuste que se dan con los procesos de nacionalización o que se derivan del tiempo que media entre la llegada de un extranjero y su inscripción. Por último, hay que considerar que la mayor parte de las bajas de extranjeros que se trasladan fuera de España no deja huella administrativa, lo que puede originar una sobredimensión de algunos colectivos. Por ello, hemos escogido los datos del año 2006, pues los Ayuntamientos, de acuerdo con la actual normativa, practicaron ese año, por primera vez, las oportunas correcciones, dando de baja a los residentes extranjeros no comunitarios que no habían renovado el permiso de residencia en los dos años anteriores.

Partiendo de esta fuente de información, se ha escogido la sección censal como unidad de microanálisis sociodemográfico y se ha creado un sistema de información en un entorno vectorial, con una topología de polígonos a los que viene georreferenciada la información. La construcción del Sistema de Información Geodemográfica

fica requirió de la utilización de la cartografía digitalizada de los distintos municipios, distritos y secciones censales del Instituto Canario de Estadística (ISTAC), según tarea acometida por este organismo en 2002.

El desfase temporal entre la cartografía digital y los datos padronales nos obligó a adaptar las unidades territoriales a las usadas en el Padrón, por lo que, en ocasiones, fue necesario agregar información demográfica o sumar parcelas, es decir, establecer una nueva clasificación. Para ello, tuvimos que consultar con los ayuntamientos afectados la distribución territorial y ajustarla convenientemente a la información demográfica.

El punto de partida de nuestro análisis fue medir la presencia de extranjeros en cada una de las secciones censales. Con este fin se utilizó, en cada unidad de análisis, el índice de extranjería, entendiendo como tal la ratio del número de extranjeros por cada cien españoles. Este primer indicador permitió reconocer numérica y cartográficamente dónde se encontraban empadronados en 2006 los extranjeros residentes en Canarias. La selección de las unidades donde se concentraban los extranjeros nos hizo definir una nueva área de estudio que llamamos *espacios de la inmigración*, espacios en los que el índice de extranjería era, al menos, del 6,5%, la mitad de la media regional. Para estos espacios se puso en práctica el análisis de diferenciación biodemográfica. Era absurdo extender esta caracterización a todo el territorio canario, dado que en algunos casos estaríamos trabajando con totales muy reducidos, de forma que el enfoque a microescala aconsejaba reducir el ámbito a las secciones donde la extranjería alcanzaba un nivel suficiente.

La caracterización biodemográfica se ha hecho a partir de tres variables: nacionalidad, sexo y edad. Para la primera se ha considerado de modo agrupado el comportamiento territorial que registran los extranjeros de la Unión Europea, por un lado, y los de otras nacionalidades, por otro, por tratarse de dos perfiles contrapuestos. La caracterización de los inmigrantes según género se hizo a partir del índice de masculinidad, que podemos definir como la ratio entre hombres y mujeres en términos porcentuales, mientras que el análisis de los extranjeros por edad se ha hecho empleando el indicador de juventud, que se obtiene por la ratio entre el sumatorio ponderado de los diferentes grupos de edad (menores de 19 años, de 19 a 39; de 39 a 49 y más de 49 años) entre el total de extranjeros. La caracterización por edad y sexo se hizo tanto para los inmigrantes como para los españoles, de tal modo que se pudieran contextualizar mejor los valores obtenidos para los primeros.

LA EXTRANJERÍA EN CANARIAS

En la última década del siglo XX se asiste a una verdadera eclosión de las migraciones internacionales. Sin embargo, cuando se analizan con detenimiento los procesos migratorios, se advierten grandes diferencias según países en el balance de los flujos, en el *tempo* y en su intensidad. En este sentido, en el sur de Europa, España se incorporó tardíamente, pero de forma rápida, al grupo de países europeos receptores de inmigrantes. Ninguno de los países de la UE-27 alcanzó crecimientos migratorios tan significativos desde 1990, tanto en cifras absolutas como relativas. En ello ha influido de forma decisiva su posición geográfica al Sur de la Unión Europea, frontera donde se manifiesta un profundo abismo entre los niveles de bienestar y de pobreza de ambas orillas del Mediterráneo, una de las líneas de fractura económica y sociodemográfica más importantes de la Tierra.

Esta tendencia general de la inmigración en España ha caracterizado también a la inmigración en Canarias, donde la población extranjera se ha triplicado entre 2001 y 2008, pasando de 87.483 residentes a 282.004, una cifra a la que habría que sumar las personas que han desaparecido de los registros a consecuencia de haber adoptado la nacionalidad española en este período. Como consecuencia de ello, el índice de extranjería en esta última fecha se eleva hasta el 15,76%.

La condición atlántica y ultraperiférica de Canarias, al “sur del norte” y al “norte del sur”, ha convertido al Archipiélago en epicentro de diversas corrientes de inmigración, en un auténtico *espacio de relación* a partir de su estratégica posición geopolítica, lo que ha derivado en la ascendente heterogeneidad, y por ende, complejidad de este fenómeno.

Debido a la inmigración, Canarias ha crecido a un ritmo más intenso en lo que va de siglo y ha mejorado sus índices de natalidad. El incremento del número de residentes de otros países ha coincidido con una amplia etapa de expansión económica, que supone uno de los principales reclamos para la afluencia de personas, entre las que han tenido un continuado protagonismo las de Europa occidental y un más acentuado papel las de proce-

dencia latinoamericana y africana. La intensidad y proyección exterior de ciertas manifestaciones de esta movilidad han situado al Archipiélago entre las áreas de mayor interés en relación con las migraciones internacionales, pues a la atracción que representa su mercado laboral, en el contexto de la economía española de los primeros años del siglo XXI, se suma su especialización turística, lo que ha atraído a ciudadanos extranjeros con un cierto nivel económico que se asientan durante largas temporadas en las zonas más cálidas o de mayor calidad medioambiental de las islas.

Por otra parte, la actual inmigración no puede entenderse sin considerar el contexto más amplio de la movilidad espacial que se desarrolla en el Archipiélago, en la que juegan un papel decisivo no sólo las migraciones exteriores, sino también los desplazamientos intra e interinsulares, que han provocado importantes cambios en la distribución de los habitantes de la región, modificando el peso demográfico de las distintas islas, el de determinadas áreas dentro de las mismas e, incluso, favoreciendo la ocupación de espacios que tenían una escasa población hasta hace muy poco tiempo. Por tanto, las especificidades locales son relevantes y justifican un análisis a diferentes escalas geográficas, ya que los factores de asentamiento se combinan de modo particular para derivar en perfiles diferenciados en cuanto a la proyección de la inmigración.

Desde el punto de vista de la procedencia de la inmigración se pueden definir en Canarias dos perfiles distintos. Por una parte se halla, como ya mencionábamos, un importante colectivo de ciudadanos de países con un elevado nivel de renta (alemanes y británicos, fundamentalmente) que son, en su mayor parte, turistas residenciales, a los que se suman trabajadores y emprendedores del mismo origen, vinculados al negocio turístico y a las actividades complementarias. Por otra parte, se podría agrupar a los residentes de otras procedencias (otros europeos, latinoamericanos y caribeños, africanos y asiáticos) que se han incorporado al mercado laboral y que han venido atraídos por la etapa de intenso desarrollo económico que caracterizó al Archipiélago hasta 2007. Entre estos últimos ha tenido un peso muy destacado la inmigración de Latinoamérica y el Caribe, la corriente de mayor incremento a lo largo de este siglo tanto en Canarias como en el conjunto de España. Secundariamente se sitúan las corrientes africana y asiática, que a su moderado incremento han sumado una mayor diversidad de orígenes geográficos en estos últimos años.

LAS ÁREAS DE INMIGRACIÓN EN CANARIAS

La necesidad de afrontar el estudio de la inmigración desde distintas perspectivas escalares nos ha permitido establecer un diagnóstico mucho más preciso del comportamiento territorial de la extranjería, tal y como puede apreciarse si contrastamos la información que nos brinda el mapa de los índices de extranjería a nivel municipal y el que hemos confeccionado a partir de las secciones censales de Canarias.

En el primero de ellos tan sólo quince municipios insulares tienen índices de más de 25 extranjeros por cada cien españoles y tan sólo en dos se supera el índice de 75, mientras que en la mayor parte de estas entidades no se alcanzan los 10 extranjeros por cada cien españoles (51 municipios de un total de 87) (En 2006 el índice de extranjería en Canarias era el 13,3%). Por tanto, este primer mapa es ilustrativo de que la inmigración adquiere una cierta importancia en un territorio preciso, el de las islas de Lanzarote, Fuerteventura, el sur-suroeste de Gran Canaria, el sur-suroeste de Tenerife y el municipio de Valle Gran Rey en La Gomera. En su conjunto, este mapa se corresponde con el de las áreas de elevada especialización turística de Canarias, lo que denota que la extranjería tiene una propensión nítida a concentrarse en aquellos ámbitos donde el binomio construcción-turismo ha dinamizado el conjunto de la economía insular.

Por otra parte, también podemos señalar que son mayoría los municipios canarios (61) que no llegan al 10 por ciento de extranjeros en su población empadronada (aquí se incluyen las dos capitales provinciales, las grandes ciudades de La Laguna y Telde) y que alcanzaron en 2006 la cifra de 1.366.379 habitantes. Con esa población conviven 74.840 extranjeros, en una relación de 5,5 residentes extranjeros por cada cien residentes insulares, lo que viene a suponer menos de la mitad del promedio regional. Se da la circunstancia de que entre todos ocupan un espacio de sólo 2.781,5 km², lo que representa el 37,3 por ciento del Archipiélago. Nos encontramos, pues, con ‘pocos’ extranjeros que viven junto a ‘muchos’ isleños en municipios muy poblados, con escasa extensión territorial y que soportan fuertes densidades demográficas, los lugares en que, obviamente, pasan más desapercibidos. Otra forma de interpretar esta distribución es la de que ‘muchos’ extranjeros conviven con

‘pocos’ residentes en municipios de densidades moderadas o bajas, compartiendo una superficie insular importante. Es verdad que en este grupo nos encontramos con situaciones muy variadas, que van desde municipios con una muy fuerte presencia de extranjeros, como Santiago del Teide, Adeje, Arona (Tenerife), o Tías (Lanzarote) (cada vez más cerca de contar con poblaciones mitad residentes insulares y mitad extranjeros), hasta otros muchos en que esa proporción se circunscribe a porcentajes del 10 al 20 por ciento (Díaz Hernández, 2007).

Ahora bien, si descendemos a la escala de secciones censales y analizamos con un cierto nivel de detalle los índices de extranjería, podemos advertir que la inmigración tiene una enorme repercusión en un ámbito territorial cuyas dimensiones aún son más reducidas y que se circunscriben a áreas de máxima especialización turística o con cierto nivel de desarrollo urbano, factores que determinan la diversificación de las actividades económicas y de los nichos de empleo a ellas asociados.

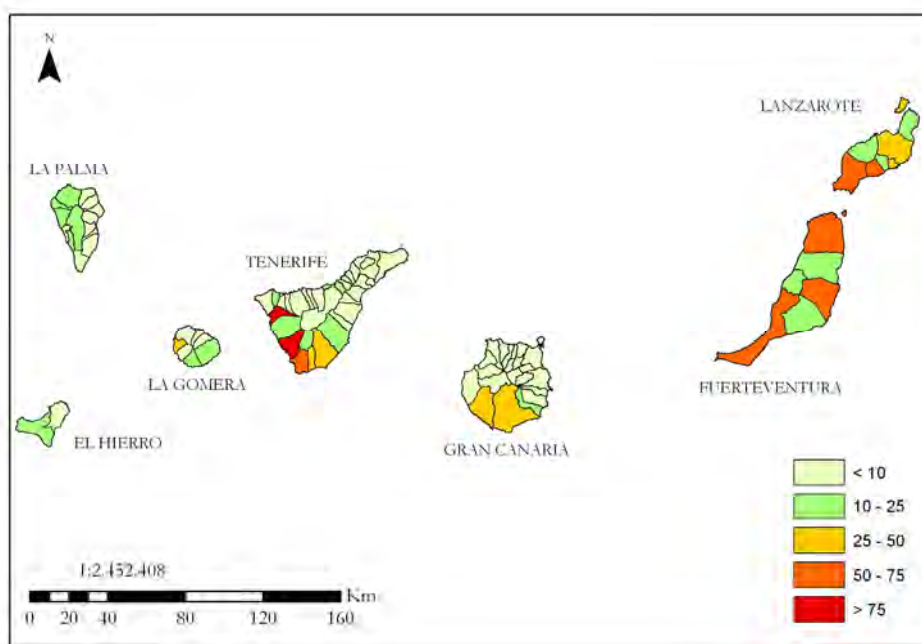


Figura 1. Índice de extranjería de los municipios canarios, 2006. Fuente: Padrón de Habitantes. INE e ISTAC

Desde esta perspectiva de análisis son siempre, secciones costeras, las que concentran los máximos índices de extranjería (índices de más de 100). Por tanto, desde el punto de vista territorial la atracción inmigratoria adopta una disposición periférica en ciertas áreas de la geografía insular, que se corresponden con ámbitos de urbanización en los que hay menos residentes españoles que foráneos, alcanzándose cifras máximas, de más de 150, en el Acantilado de los Gigantes (Santiago del Teide, Tenerife), Playa de las Américas y Armeñime (Adeje, Tenerife), Costa del Silencio (Arona, Tenerife) y Puerto Rico (Mogán, Gran Canaria).

Pero además, la representación del fenómeno a nivel de sección nos permite reconocer ciertas unidades que quedaban fuera de todo análisis cuando la aproximación a este fenómeno era de carácter municipal. Se trata de zonas que presentan tasas de extranjería medias, de más de 25 extranjeros por cada 100 españoles, como algunas secciones de los municipios del oeste de la isla de La Palma (Todoque y Las Manchas en Los Llanos de Aridane y La Punta en Tijarafe), muchas de las del Puerto de la Cruz (Tenerife) y, también, ciertas secciones de municipios urbanos, como, por ejemplo, las próximas al istmo de Guanarteme en Las Palmas de Gran Canaria, las del eje de la carretera general del sur de Gran Canaria (El Doctoral y Vecindario) en Santa Lucía de Tirajana, las de la Longuera a Toscal, en el municipio tinerfeño de Los Realejos, etc.

En consecuencia, la perspectiva a microescala de la inmigración en Canarias nos permite definir de un modo más preciso su distribución territorial, que deja de vincularse únicamente a la actividad turística, como manifestaba la representación a escala municipal, para ponerse de manifiesto que hay que considerar también otros factores como el desarrollo comercial-portuario de Las Palmas de Gran Canaria, el crecimiento industrial y co-

mercantil de núcleos emergentes como en el caso de la ciudad polinuclear del sureste de Gran Canaria (Santa Lucía de Tirajana y Agüimes), la puesta en valor de los espacios rurales como áreas residenciales (La Palma), la presencia de agricultura de exportación (La Aldea de San Nicolás en Gran Canaria), entre otros.

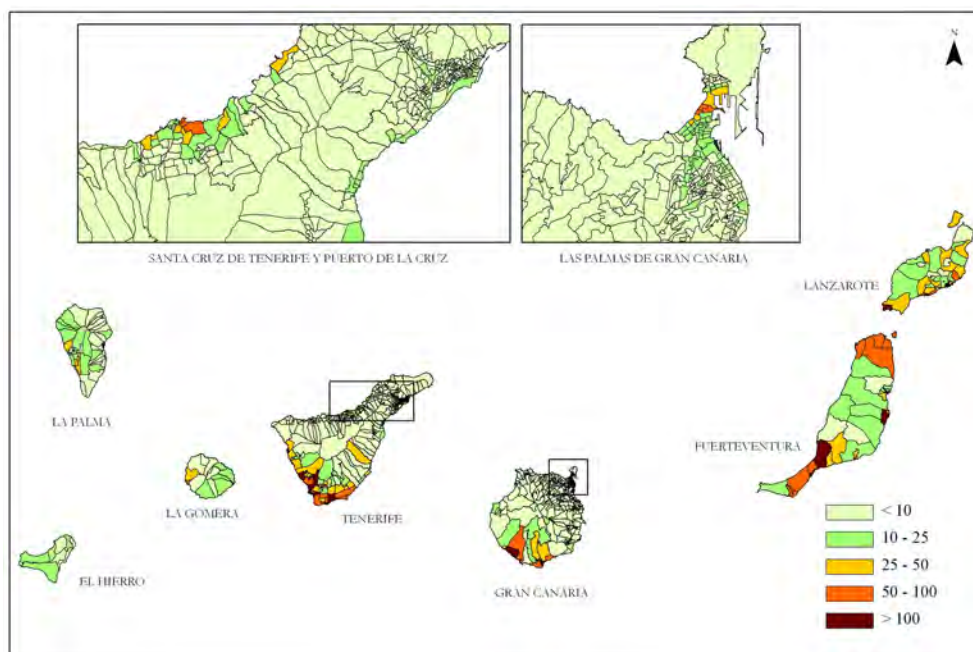


Figura 2. Índice de extranjería de las secciones censales de Canarias, 2006. Fuente: Padrón de Habitantes. INE e ISTAC

LA DIFERENCIACIÓN TERRITORIAL DE LOS EXTRANJEROS SEGÚN NACIONALIDAD

En Canarias coexisten en la actualidad, entre otros, dos grandes flujos migratorios. Uno de carácter residencial-laboral que es generado por la llegada creciente de europeos comunitarios que, bien desarrollan actividades profesionales en las islas, generalmente vinculadas al sector turístico, bien permanecen durante una larga temporada de descanso, como una manifestación del emergente turismo residencial de mayores. El otro flujo está formado por extranjeros de origen extracomunitario que arriban a las islas para trabajar (Domínguez, 2006). Respectivamente, estos dos flujos suponen el 47 y el 53% de los extranjeros empadronados en Canarias.

Como en el caso de los índices de extranjería, la distribución territorial en las Islas de ambos flujos únicamente puede manifestarse de un modo claro en una perspectiva de microescala (Domínguez y Parreño, 2007). Para ello, y sólo para las secciones censales en las que la presencia de extranjeros permitía la existencia de un índice de al menos 6,5%, se calculó el porcentaje de inmigrantes residentes de nacionalidad comunitaria y extracomunitaria. Por término medio para el conjunto de las 299 secciones seleccionadas, los procedentes de los 25 países de la Unión Europea suponen el 50,7% de los extranjeros, relegando a los no comunitarios a un 49,3%. No obstante, existen grandes diferencias en los porcentajes entre unas secciones y otras.

En términos generales, la distribución se caracteriza, como se puede observar en la figura 3 relativa al porcentaje de los comunitarios sobre el total de extranjeros de cada sección, por la existencia de 134 unidades en las que predominan los comunitarios, frente a 165 de mayoría extracomunitaria. Pero la diversidad de situaciones es enorme. En 62 secciones el peso de los europeos es mayor del 75%, dándose el caso de muchas en que el porcentaje supera el 90%, como en las secciones del Norte y Noroeste de Tenerife, en municipios como Los Silos, Los Realejos, Santiago del Teide, La Matanza de Acentejo, La Orotava o El Sauzal, entre otros. Por el contrario, en 97 secciones, más del 75% de los extranjeros no son comunitarios, dándose también situaciones muy sesgadas hacia un componente no europeo, como en el caso de muchas secciones de Arrecife (Lanzarote) o Las Palmas de Gran Canaria.

Centrándonos en los de procedencia comunitaria, se advierte que hay grandes paralelismos entre el mapa de su distribución y la de los índices de extranjería (figuras 2 y 3), lo que vincula la presencia de europeos a las áreas de desarrollo turístico. No obstante, un análisis detallado nos permite apreciar que además de las urbanizaciones turísticas, los residentes comunitarios presentan unas pautas de localización más variadas, pues también alcanzan cifras destacadas en ciertas secciones censales de escasa especialización turística, secciones en las que han adquirido inmuebles o en las que los alquilan por largas temporadas, generalmente en entornos rurales de elevada calidad medioambiental. Así sucede de forma paradigmática al oeste de la isla de La Palma, en Garafía, en ciertas secciones del interior de Lanzarote, como en Tabayesco, o en el Norte de Tenerife, etc.

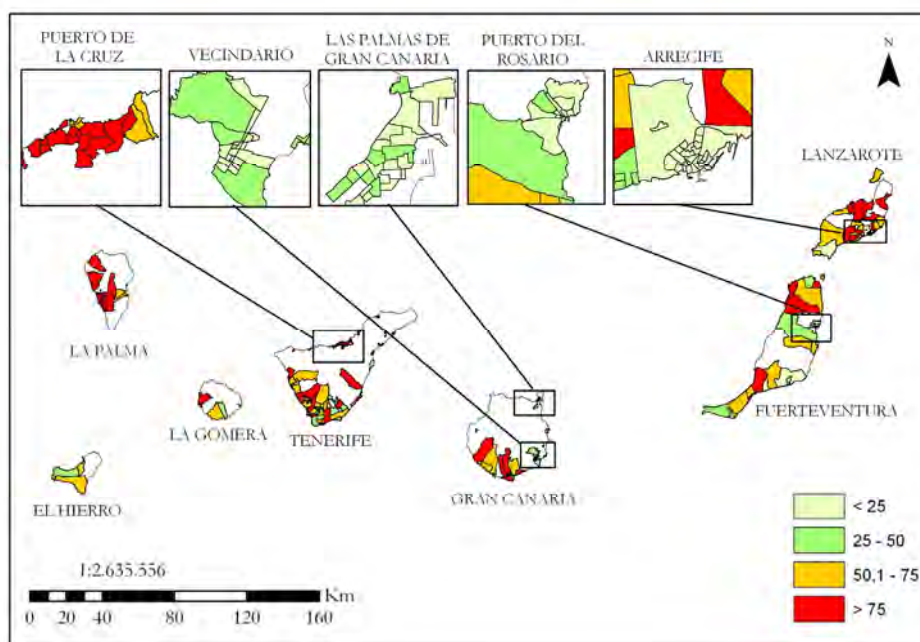


Figura 3. Mapa de localización de los residentes comunitarios en Canarias, 2006. (en % respecto al total de extranjeros) Fuente: Padrón de Habitantes. INE e ISTAC

Los no comunitarios, por su parte, residen en algunas de las secciones de los principales espacios urbanos de las Islas (las capitales insulares), que se convierten en sus espacios de trabajo y, sobre todo, de habitación. El caso de Arrecife es espectacular, porque concentra el 60% de los extracomunitarios de la Isla, mientras que los europeos sólo representan el 8%. Esto sucede también en determinadas secciones de los municipios turísticos o cercanos a éstos, en las que se ha desarrollado un mercado de la vivienda para la población trabajadora. Así lo constatamos en el caso de la mayor parte de las unidades de Vecindario-Agüimes en el Sureste de Gran Canaria, en el de algunas secciones de Arona y Granadilla de Abona en el Sur de Tenerife, en otras de La Oliva, Tuineje y Pájara en Fuerteventura o de San Sebastián de La Gomera, por citar las más significativas. Cabe también reseñar algunos casos concretos en los que la población no comunitaria dedicada a actividades agrícolas ha encontrado alojamiento, como sucede en el municipio de La Aldea de San Nicolás en Gran Canaria.

LA DIFERENCIACIÓN SOCIOTERRITORIAL DE LA EXTRANJERÍA SEGÚN EDAD Y SEXO

En España, en los últimos años, en un contexto de envejecimiento demográfico y saldo vegetativo casi nulo, la irrupción de un aporte migratorio positivo y en progresivo incremento ha adquirido un importante protagonismo en el crecimiento demográfico de la población (Izquierdo Escribano, 2006). Algo semejante ha sucedido en Canarias, territorio en el que las tasas de fecundidad se redujeron con tal intensidad desde principios de los años noventa que, pese a la extraordinaria juventud de la población, la contracción del crecimiento podía

haber puesto en peligro una evolución demográfica positiva, lo que ha venido a resolver la inmigración, demorando este proceso.

La pirámide de la población canaria refleja en su perfil el impacto de la inmigración en las generaciones comprendidas entre los 25 y los 44 años, cohortes a las que se suma la cuantiosa población que conforma las generaciones más numerosas de nuestro reciente pasado demográfico. En consecuencia, conocer con un mayor nivel de detalle este impacto es lo que nos proponemos con esta aproximación a la estructura por sexo y edad de la población extranjera en Canarias, dado que todos los fenómenos demográficos son estrechamente dependientes de la edad y, por tanto, están globalmente correlacionados con la estructura por edad y sexo de una población (Livi-Bacci, 1993).

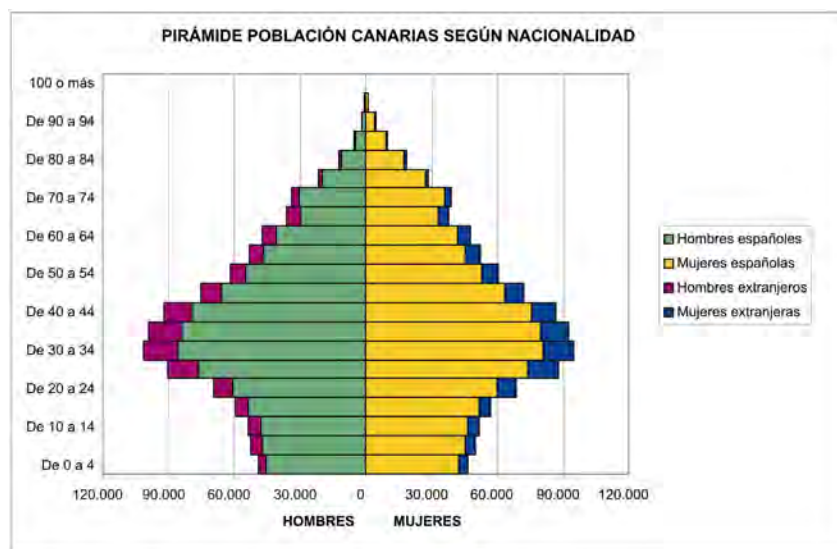


Figura 4. Pirámide de población de la población española y extranjera residente en Canarias, 2007. Fuente: Padrón de Habitantes. INE e ISTAC.

Desde el punto de vista de la estructura por edades, la joven composición de la inmigración hace que su impacto en el resto de las variables demográficas se amplifique. En España, uno de cada dos extranjeros es una persona adulta joven, mientras que tan sólo el 4,9 por ciento de los extranjeros tiene más de 65 años. Sin embargo, en Canarias, al igual que en la Comunidad Valenciana, en los municipios de la costa mediterránea catalana, murciana y andaluza y en Baleares, el porcentaje de extranjeros de más de 65 años es más elevado.

Para profundizar en el análisis de la estructura etaria básica de la población extranjera y española residente en Canarias hemos seleccionado, de entre todas las tasas, índices e indicadores que se han utilizado en Geodemografía, el indicador de juventud², un indicador sintético que tiene como objetivo medir la estructura de la población a partir de un valor estadístico que nos permite un análisis comparativo de carácter espacial.

Desde esta perspectiva, el indicador de juventud de la población extranjera que reside en Canarias es ligeramente más bajo que el de los nacionales (de 4,95 puntos frente a los 4,98 puntos de los españoles), con pequeñas variaciones entre las distintas islas. Esta circunstancia pone de manifiesto el peso de la inmigración de personas de edad avanzada que residen durante largas temporadas en las Islas y que hace que dicho indicador, en los territorios de la inmigración, sea más elevado y acuse un mayor diferencial que el que señalamos con respecto al conjunto de Canarias, de 5,21 puntos en el caso de la población española, frente a los 4,88 de los extranjeros en estas zonas.

$$^2 IJ = \frac{(9 P_{< 19} + 6 P_{20 - 30} + P_{40 - 59} + P_{> 60})}{P_t} . P \text{ es población según edad y } P_t, \text{ población total.}$$

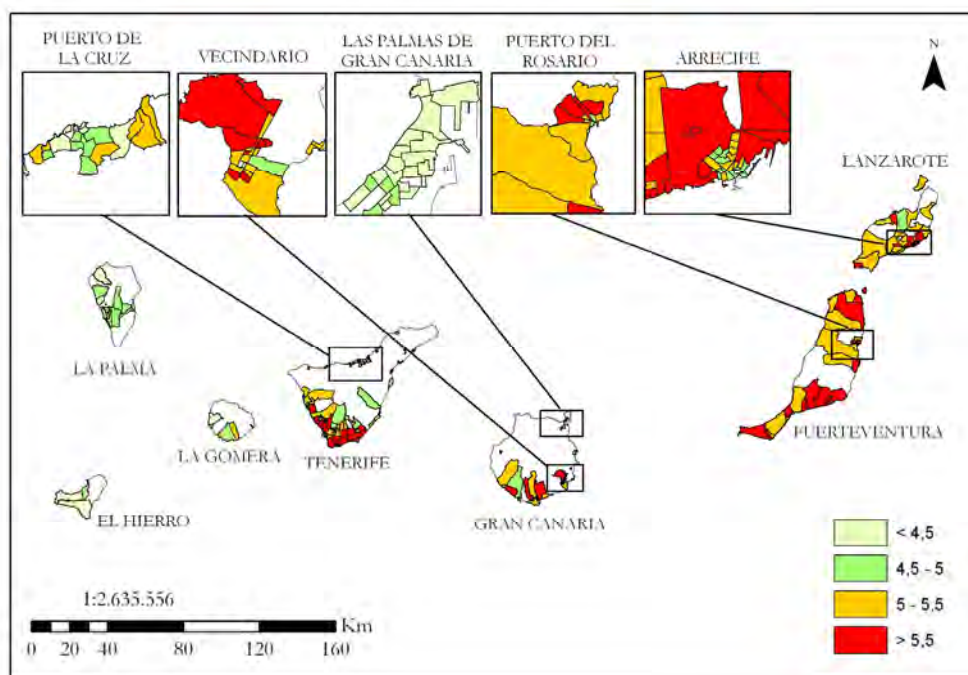


Figura 5. Indicador de juventud de la población española en los territorios de la inmigración, 2006. Fuente: Padrón de Habitantes. INE e ISTAC.

En esta mayor juventud de la población española también influye el hecho de que la inmigración laboral extranjera, al tratarse de un fenómeno relativamente reciente, no ha garantizado aún el equilibrio familiar que podía haber repercutido en una mayor natalidad y que, probablemente, se apreciará de forma más significativa en los próximos años. En este sentido, las secciones censales del área definida como territorios de la inmigración tienen un indicador de juventud mayor fundamentalmente porque han recibido importantes aportes inmigratorios de la población canaria procedente de otras localidades del Archipiélago y de la población del resto del Estado, lo que ha contribuido a dinamizar las estructuras demográficas de estos espacios insulares, en muchos casos más que la propia inmigración exterior. Estas apreciaciones son de una gran importancia porque desmienten algunas de las consideraciones que se habían hecho en relación con la inmigración extranjera.

Una comparación entre el mapa de los indicadores de juventud de la población española (figura 5) y el de los indicadores de juventud de la población extranjera (figura 6) en los territorios de la inmigración ayuda aún más en la precisión de otra serie de características que tienen un peso definitivo en la interpretación de la estructura por edades.

A simple vista se pueden apreciar las diferencias entre ambos mapas. Los indicadores son más elevados por parte de la población española y los más altos se reparten de forma más generalizada, mientras que los de la población extranjera se corresponden con un espacio más reducido, que podríamos identificar con el de aquellas secciones que se han especializado en el mercado de la vivienda para una población predominantemente laboral. Los casos de Tenerife y Gran Canaria son paradigmáticos en este sentido. Los indicadores más altos corresponden a las secciones censales situadas en la periferia de los núcleos con urbanizaciones turísticas. De la misma forma, los indicadores más elevados se corresponden con secciones con barriadas de polígonos de viviendas o de inmuebles en alquiler de municipios no turísticos como son las capitales de Lanzarote (Arrecife) y Fuerteventura (Puerto del Rosario) o con otros municipios no turísticos del conjunto del Archipiélago (San Bartolomé en Lanzarote, Gran Tarajal en Tuineje, en Fuerteventura, La Cuesta y Taco en el municipio de La Laguna, en Tenerife, Puerto, Canteras e Isleta en Las Palmas de Gran Canaria...), o con zonas especializadas en acoger a la población trabajadora de los enclaves turísticos como El Doctoral y Cruce de Sardina en Santa Lucía de Tirajana (Gran Canaria) o El Fraile en Arona (Tenerife) etc.

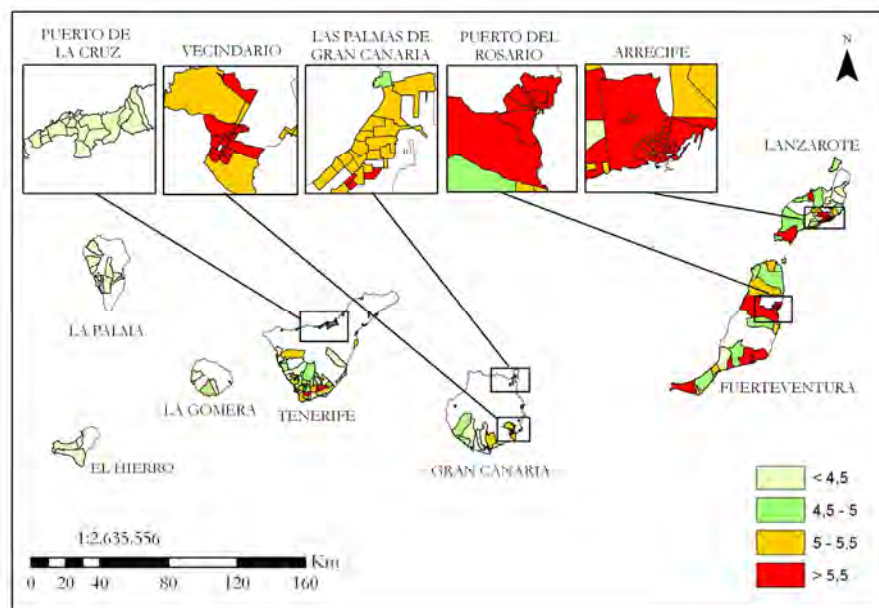


Figura 6. Indicador de juventud de la población extranjera en los territorios de la inmigración, 2006. Fuente: Padrón de Habitantes. INE e ISTAC.

Los indicadores más bajos, por otra parte, se corresponden, en el caso de la población extranjera, con las áreas en las que predomina el turismo residencial, como sucede de forma paradigmática en las islas occidentales del Archipiélago, La Palma, La Gomera y El Hierro.

En síntesis, la estructura por edades de la población extranjera es una de las magnitudes cuya significación es indispensable para la caracterización de la extranjería, si bien, su verdadera dimensión sólo se pone de manifiesto cuando se afronta un análisis microescalar, como el que se ha desarrollado con el sistema de información geográfica que hemos construido para esta comunicación.

En lo que respecta al género, la población extranjera se caracteriza en nuestro país por estar más masculinizada (115 hombres por cada 100 mujeres) que la de nacionalidad española (96 hombres por cada 100 mujeres). La misma situación caracteriza a Canarias, aunque el diferencial, en este último caso, es sensiblemente menor, de tan sólo 7,4 puntos de distancia. El índice de masculinidad o sex ratio es de 99,9 hombres por cada cien mujeres en el caso de la población española residente en Canarias, frente a 107,3 hombres por cada cien mujeres en el de la población extranjera. Ello obedece a dos circunstancias, por una parte, a que la población canaria, al tener una proporción más elevada de población joven, tiene un mayor peso de la población masculina (recuérdese que hay una relación directa entre envejecimiento y feminización de la población) y, por otra parte, a que en la inmigración extranjera han tenido un considerable protagonismo las mujeres latinoamericanas, lo que ha equilibrado un poco más los índices en la población adulta.

Los índices de masculinidad son más elevados en el conjunto de las 299 secciones donde se concentra la mayor parte de los extranjeros empadronados en Canarias, con un valor de 110,7 para los extranjeros y 104,6 para los españoles, lo que viene a identificar el dinamismo demográfico de este ámbito de la geografía insular, en la que el predominio de la población adulta joven es sinónimo de un mayor dinamismo económico. Por tanto, el aporte de la inmigración está detrás del suave desequilibrio que muestra la masculinidad en Canarias.

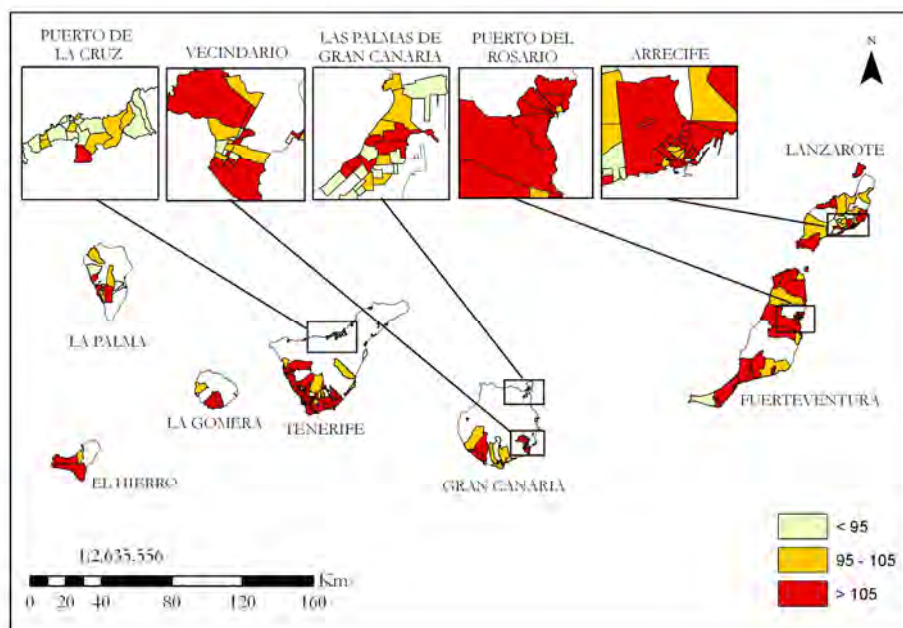


Figura 7. Índice de masculinidad de los residentes extranjeros, 2006. Fuente: Padrón de Habitantes. INE e IS-TAC

Sin embargo, la lectura a microescala permite detectar situaciones muy diversas entre los extranjeros. Frente a lo que podría pensarse, en 99 secciones hay más mujeres que hombres, alcanzándose en algunas valores de masculinidad en torno a 74. En este grupo encontramos situaciones variadas tales como secciones turísticas claramente especializadas en el asentamiento de europeos, áreas costeras y rurales donde se está desarrollando el turismo residencial, y que no incluyen ningún *resort* turístico, o secciones censales en áreas urbanas, especialmente en las dos capitales canarias, en las que se está concentrando una inmigración femenina latinoamericana vinculada, fundamentalmente, al servicio doméstico.

Además, dentro del grupo de las 200 secciones que presentan una sex ratio masculinizada, la variedad es muy grande, existiendo algunas en las que los valores superan el 300. Aunque en todas las secciones consideradas la presencia de inmigración laboral no comunitaria justifica estos niveles de masculinidad, sólo la gran concentración de africanos o de rumanos, vinculados a la agricultura en este último caso, en algunas secciones, explica que se alcancen valores tan elevados.

Pese al predominio de unas ratios elevadas en ambos casos, si contrastamos la distribución de los índices de masculinidad de los extranjeros y los españoles (figuras 7 y 8) podemos apreciar importantes variaciones, lo que se cuantifica en la ausencia de correlación (0,28). Mientras que los niveles de masculinidad se reparten en el primer caso de forma más heterogénea entre los distintos espacios insulares, en el caso de las ratios de los españoles, los niveles son mucho más homogéneos (dispersiones estándar de 23 y 11 respectivamente).

No obstante, y especialmente en algunas islas como Lanzarote y Fuerteventura, se registran mayores índices entre los españoles. Ello se debe a que se trata de ámbitos con una importante inmigración de toda procedencia y condición, es decir, no sólo de extranjeros sino también de trabajadores procedentes de otros puntos de Canarias o del resto de España, lo que eleva estos índices por encima del de los extranjeros, entre los que no hay sólo adultos jóvenes incorporados al mercado laboral, sino también turistas residenciales ancianos.

Las ratios de extranjeros son, por otra parte, menos marcadas en los municipios turísticos del sur de Gran Canaria y norte de Tenerife, con una mayor especialización turístico-residencial, asociada al desarrollo extrahotelero, que en el sur de Tenerife, donde los niveles de masculinidad de los extranjeros son considerablemente superiores a los de españoles, lo mismo que sucede en El Hierro, donde la inmigración extranjera laboral y la inmigración extranjera residencial coinciden en un mismo espacio geográfico.

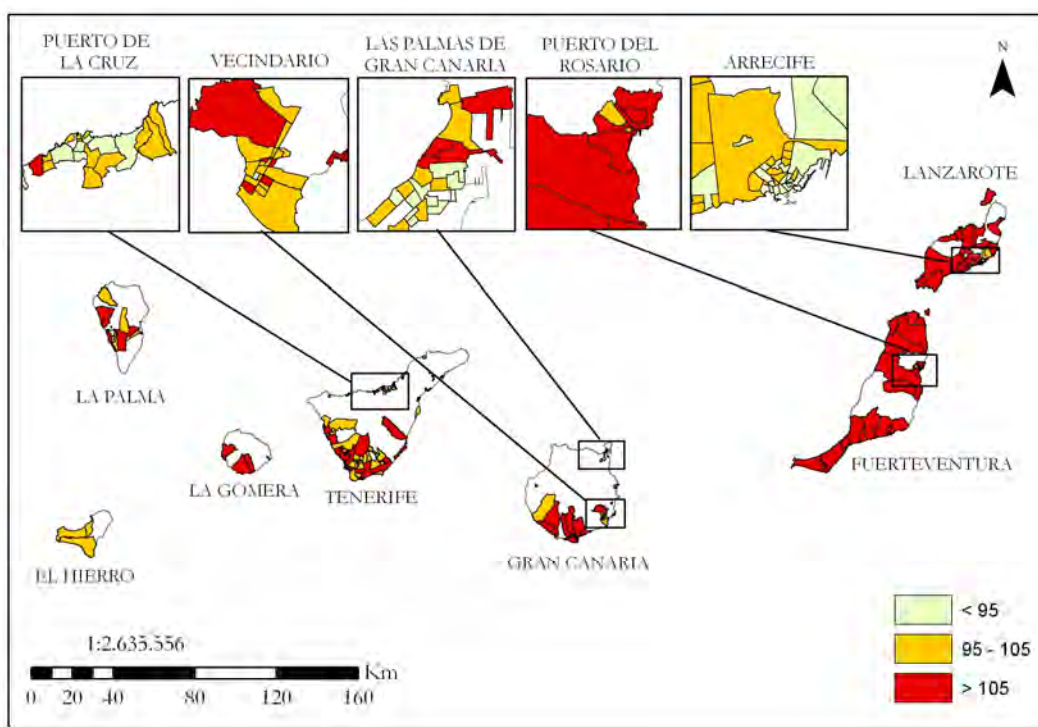


Figura 8. Índice de masculinidad de los residentes españoles, 2006. Fuente: Padrón de Habitantes. INE e IS-TAC

CONCLUSIONES

La representación microescalar permite reconocer una serie de peculiaridades en las pautas territoriales de la extranjería en Canarias, que quedan ocultas cuando se analizan desde una perspectiva insular o municipal. El trabajo a escala de secciones censales nos hace descubrir que la distribución de la población extranjera se vincula no sólo a la actividad turística (mano de obra y turismo residencial) como al propio crecimiento urbano, al desarrollo comercial-portuario, al crecimiento industrial y comercial de núcleos emergentes, a la puesta en valor de ciertos espacios rurales como áreas residenciales o a la presencia de una dinámica agricultura de exportación. Al mismo tiempo, estas consideraciones nos obligan a apreciar la íntima relación entre los espacios de la inmigración y la nacionalidad de los distintos colectivos, pues las pautas de localización de ciertos grupos están íntimamente relacionadas con los distintos matices de especialización socioeconómica de los espacios insulares: turismo residencial de europeos comunitarios y mercados laboral y de la vivienda en el caso de los demás extranjeros.

Por último, el impacto biodemográfico de la población extranjera es muy dispar y ofrece un comportamiento diferenciado con respecto al de la población española. En determinadas áreas los extranjeros han contribuido a un cierto rejuvenecimiento y masculinización, mientras que en otras favorecen la feminización o el envejecimiento, a consecuencia de la especialización laboral-habitacional o turístico-residencial a que hemos aludido. En otros términos, aunque de modo global la extranjería supone un aumento de la población adulta y la masculinización de la población residente en Canarias, a escala microescalar se advierte que, para ciertos ámbitos, reduce los indicadores de juventud (allí donde predomina el turismo residencial) y, en otros, con un mercado laboral y de la vivienda dinámicos, su impacto es poco notorio, pues al tratarse de áreas con una alta proporción de población masculina y de jóvenes, más que reforzar la estructura biodemográfica de la población española, sólo contribuyen a alterarla ligeramente.

BIBLIOGRAFÍA

- Amersfoort, H. V. y De Klerk, L (1987): The dynamics of immigrant settlement: Surinamese, Turks and Moroccans in Ámsterdam 1973-1983. En: G. Glebe y J. O'Loughlin (Eds.), *Foreign minorities in Continental European Cities*. Franz Steiner Verlag, Stuttgart, pp. 199-222.
- Basset, K. y Short, J. (1980): *Housing and residential structure. Alternative approaches*. Routledge and Kegan Paul, Londres, 254 pp.
- Bayona I. y Carrasco, J. (2007): La segregación residencial de la población extranjera en Barcelona: ¿Una segregación fragmentada?". *Scripta Nova*, XI, 235: <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-235.htm>
- Berry, B.J.L. y Kasarda, J.D. (1977): *Contemporary urban ecology*. Macmillan, New Cork, 498 pp.
- Bolt, G.; Hooimeijer, P. y Kempen, R.V. (2002): Ethnic Segregation in the Netherlands: new patterns, new policies? *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 93 (2): 214-220.
- Comité de Expertos sobre Población e Inmigración en Canarias (2003): *Informe sobre población e inmigración en Canarias*. Gobierno de Canarias. Las Palmas de Gran Canaria. 276 pp.
- Díaz Hernández, R. (2007): *El reto de las migraciones. En Estrategia para las regiones ultraperiféricas: logros y perspectivas*. Dictamen de la Comisaría de Asuntos Exteriores del Gobierno de Canarias (Inédito).
- Domínguez Mujica, J. (2006): La inmigración extranjera en Canarias en el cambio de siglo. *Estudios Geográficos*, LXVII: 471-494.
- Domínguez Mujica, J. y Parreño Castellano, J.M. (2007): Nuevas miradas desde la tecnología: el microanálisis espacial y la elaboración de un atlas de población extranjera en Canarias. En: *La Geografía en la frontera del conocimiento*. XX Congreso Nacional de la Asociación de Geógrafos Españoles. Universidad Pablo de Olavide. Sevilla.
- Deurloo, M. y Musterd, S. (1998): Ethnic Clusters in Amsterdam, 1944-96: a micro-area analysis. *Urban Studies*, 35 (3): 385-396.
- Friedrichs, J. (1998): Ethnic segregation in Cologne, Germany 1984-94. *Urban Studies*, 35: 1745-1763.
- Giffinger, R. (1998): Segregation in Vienna: impacts of market barriers and rent regulations. *Urban Studies*, 35: 1791-1812.
- Izquierdo Escribano, A. (2006): *El impacto de la inmigración extranjera en las regiones españolas. En Análisis territorial de la demografía española*. Fundación Fernando Abril Martorell. Madrid.
- Kempen, R. van y Özüekren, A. S. (1998): Ethnic Segregation in cities: new forms and explanations in a dynamic World. *Urban Studies*, 35 (10): 1631-1656.
- Kempen, R. V. (2004): Segregation and housing conditions of immigrants in Western European Cities. En: Y. Kazepov (coord.): *Cities of Europe. Changing Contexts, Local Arrangements and the challenge to urban cohesion*. Blackwell, Oxford, pp. 190-209.

- Kempen, R. V. (2007): Divided cities in the 21st century: challenging the importance of globalisation. *Journal of Housing Built Environ*, 22: 13-31.
- Kesteloot, CH. (1986): Concentración d'étrangers et politique urbaine à Bruxelles. *Revue Européenne des Migrations Internationales*, 2 (3): 151-167.
- Leal, J. (2002): Segregación social y mercados de vivienda en las grandes ciudades. *Revista Española de Sociología*, 2: 59-75.
- Leitner, H. (1992): Urban geography: responding to new challenges. *Progress in Human Geography*, 16 (1): 105-118.
- Livi-Bacci, M. (2000): *Introducción a la Demografía*. Ariel, Barcelona, 480 pp.
- Martori, J.C. y Hoberg, K. (2004): Indicadores cuantitativos de segregación residencial. El caso de la población inmigrante en Barcelona. *Scripta Nova*, VIII, 169: <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-169.htm>
- McDonough, G. (1987): The social construction of evil: Barcelona's Barrio Chino. *Antropological Quaterly*, 60 (4): 174-185.
- Ocaña Ocaña, C. (2005): Microanálisis sociodemográfico de espacios urbanos. *Boletín de la A.G.E.*, 40: 5-34.
- Peach, C. (1998): South Asian and Caribbean ethnic minority housing choice in Britain. *Urban Studies*, 35: 1657-1702.
- Petsimeris, P. (1998): Urban decline and new social and ethnic divisions in the core cities of the Italian Industrial Triangle. *Urban Studies*, 35: 449-465.
- Rapaport, A. (1977): *Aspectos humanos de la forma urbana*. Gustavo Gili, Barcelona.
- Reques Velasco, P. (2006): *Geodemografía. Fundamentos conceptuales y metodológicos*. Universidad de Cantabria, Santander, 310 pp.
- Rex, J. y Moore, R. (1967): *Race, community and conflict*. Oxford University Press, Londres, 304 pp.
- Rhein, C. (1988): La segregation démographique. En: C. Bonvalet y P. Merlin (eds.): *Transformation de la famille et habitat*. INED, Paris.
- Shevky, E. y Bell, W. (1955): *Social area analysis: theory, illustrative application and computational procedures*. Stanford University Press, Standord, 70 pp.
- Wacquant, L. (2001): *Parias urbanos. Marginalidad en la ciudad a comienzos del mileno*. Manantial, Buenos Aires, 208 pp.

Prat, Ester ; Sánchez, Joan ; Pesquer, Lluís ; Olivet, Miquel ; Aloy, Joan ; Fusté, Josep y Pons, Xavier (2008): Estudio sobre la accesibilidad de los centros sanitarios públicos de Cataluña. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 396-411. ISBN: 978-84-96971-53-0.

ESTUDIO SOBRE LA ACCESIBILIDAD DE LOS CENTROS SANITARIOS PÚBLICOS DE CATALUÑA

Prat, Ester¹ ; Sánchez, Joan¹ ; Pesquer, Lluís¹ ; Olivet, Miquel² ; Aloy, Joan² ; Fusté, Josep² y Pons, Xavier^{3,1}

(1) Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF), Edificio C, Universidad Autónoma de Barcelona 08193 Bellaterra (Barcelona) - e.prat@creaf.uab.cat

(2) Departamento de Salud, Generalidad de Cataluña, Travesera de las Cortes, 131-159 (Edificio Olimpia) 08028 Barcelona - catsalut@catsalut.net

(3) Departamento de Geografía, Edificio B, Universidad Autónoma de Barcelona 08193 Bellaterra (Barcelona) - xavier.pons@uab.cat

RESUMEN

Este estudio presenta un análisis de la accesibilidad de los centros sanitarios públicos de Cataluña mediante la utilización de herramientas de cálculo de rutas óptimas, integradas en un SIG. Estas herramientas son útiles para el tratamiento de este tipo de información, aunque su aplicación práctica no siempre resulta sencilla, especialmente debido a la diversidad de informaciones de base existentes y a sus distintas adecuaciones a los propósitos de cada estudio según su completitud, topología, etc. En este trabajo se abordan los procedimientos seguidos para el cálculo de distancias y tiempos de acceso a través de una red de carreteras desde los núcleos de población a los servicios sanitarios. Algunos de los obstáculos salvados han sido el tratamiento correcto de las conexiones o superposiciones de viales a diferentes niveles, la digitalización de tramos inexistentes en la red original para la conexión de todos los núcleos y la asignación algorítmica de los atributos de los núcleos y los centros a nodos de la red, necesaria para el cálculo de las rutas óptimas. Los resultados ponen de manifiesto el interesante potencial de la metodología utilizada en la planificación territorial de los servicios sanitarios y los principales puntos a mejorar en términos de accesibilidad de la población a los recursos sanitarios.

Palabras Clave: Accesibilidad, Sanidad Pública, Rutas óptimas, SIG

ABSTRACT

This work presents an analysis of the accessibility of public health centers in Catalonia through the use of optimum routes calculation tools, included in a GIS. These tools are useful for the management of this type of information, although their practical application is not always easy, especially due to the variety of existing informations and their different adaptation to the purposes of every study depending on their integrity, topology, etc. In this work the procedures followed in the calculation of distances and times of access through a road net from the villages to the health services are described. Some of the difficulties that have been overcome are the transformation of the village areas to point entities, the digitalization of non-existent stretches in the original road net to connect all the villages, the correct processing of the different level connections and superpositions of roads and the algorithmic allocation of the villages and health centers attributes to the net nodes, necessary in the calculation of the optimum routes. The results show the interesting potential of the used methodology in the geographical planning of the health services and the main weak points in terms of population's accessibility to health resources.

Key Words: Accessibility, Public Health System, Optimum routes, GIS

INTRODUCCIÓN

La asistencia sanitaria pública catalana se organiza en un conjunto de centros sanitarios repartidos por el territorio, los cuales ofrecen diferentes servicios en función de las localizaciones del centro y de la población servida, así como de las necesidades de dicha población. Esta organización, su análisis y planificación son reco-

gidos en el Mapa sanitario, sociosanitario y de salud pública de Cataluña, presentado en mayo de 2008 por el Departamento de Salud de la Generalitat de Cataluña (Departament de Salut, 2008).

En el marco de la elaboración del Anteproyecto del Mapa sanitario, en pleno análisis de la situación actual y planificación futura de la infraestructura sanitaria catalana, se planteó la necesidad de desarrollar análisis territoriales objetivos de la adecuación de los servicios sanitarios a la distribución de la población en el territorio. Al margen, pues, de la herramienta de planificación y evaluación que supone el Mapa, se llevó a cabo este estudio de la accesibilidad de los centros sanitarios públicos de Cataluña como experiencia en el uso de técnicas objetivas para el análisis y la cuantificación de dicha adecuación.

La accesibilidad de un servicio puede definirse como el grado con el que éste puede ser usado, visitado o accedido por sus usuarios, pudiendo ser medida en función de cualquier tipo de coste que implique el uso, visita o acceso a los mismos (Salado et al., 2006; Bosque y Moreno, 2004; Thill y Kim, 2005; Varela, 2004; Ajenjo y Alberich, 2003; Rietveld y Woudenberg, 2003). En este sentido, existen numerosos trabajos que han desarrollado escenarios similares al planteado en este estudio, utilizando medidas de accesibilidad a servicios o a lugares de interés (Ohta et al., 2007; Messina et al., 2006; Varela et al., 2006; Kalogirou y Mostratos, 2004; Redondo, 2003; Comissió de Mobilitat del Pacte Industrial, 2003; Escalona y Díez, 2002; Gutiérrez y García, 2002; Brabyn y Skelly, 2001). El cálculo de la accesibilidad de los centros sanitarios proporciona una medida cuantitativa de la proximidad de los servicios a los usuarios, de modo que puede argumentarse y justificarse objetivamente la cobertura sanitaria de la población.

En este estudio la accesibilidad ha sido evaluada mediante la mínima distancia a recorrer para los usuarios desde su lugar de residencia hasta el servicio sanitario más cercano, y el tiempo invertido en ese recorrido, teniendo en cuenta el transporte privado por carretera. Los cálculos se han llevado a cabo mediante el Sistema de Información Geográfica MiraMon (Pons, 2000; Santos y Cocero, 2006) y utilizando datos sobre las ubicaciones de los núcleos de población y los centros sanitarios de Cataluña, así como un grafo con las vías de comunicación existentes y sus velocidades de recorrido asociadas.

ÁMBITO DE ESTUDIO

El territorio catalán se divide en siete Regiones Sanitarias, que cuentan con una cierta dotación de recursos sanitarios de atención primaria y de atención especializada para atender las necesidades de la población. Cada región se ordena, a su vez, en Gobiernos Territoriales de Salud (GTS), donde se desarrollan y coordinan las actividades de promoción de la salud, prevención de la enfermedad, salud pública y asistencia sociosanitaria en el nivel de atención primaria y de las especialidades médicas. Los Gobiernos están constituidos por la agrupación de Áreas Básicas de Salud (ABS). El Área Básica de Salud es la unidad territorial elemental a través de la cual se organizan los servicios de atención primaria de salud. Son unas unidades territoriales formadas por barrios o distritos en las áreas urbanas, o por uno o más municipios en el ámbito rural. Todas estas delimitaciones son determinadas en función de factores geográficos, socioeconómicos, demográficos, laborales, epidemiológicos, culturales, climáticos, de vías de comunicación homogéneas, así como de instalaciones sanitarias existentes, teniendo en cuenta la ordenación territorial de Cataluña y en función de la accesibilidad de la población a los servicios y de la eficiencia en la organización de los recursos sanitarios.

La distribución de la población en Cataluña sigue una estructura claramente heterogénea, concentrándose principalmente en grandes áreas urbanas. Según datos de 2006, 3 de las 41 comarcas (Barcelonès, Vallès Occidental y Baix Llobregat) concentraban más del 50% del total de la población y casi el 65% se encontraba repartida en sólo 5 comarcas (IDESCAT, 2006). Por lo que refiere a las vías de comunicación, la provincia de Barcelona dispone del doble de vías que el resto de provincias, sobre todo de vías de doble calzada y de autopistas libres y autovías (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2005), reflejando también la mayor concentración de población en la Región Metropolitana de Barcelona. Esta distribución afecta a los procesos de planificación de servicios, que deben concentrarse también en las áreas más pobladas, pero sin descuidar y asegurando la dotación de las áreas menos habitadas.

En este sentido, el presente estudio resulta de interés por cuanto analiza en mayor medida los trayectos interurbanos, es decir, los desplazamientos entre núcleos de población, que son también los de mayor interés en la

planificación sanitaria, dado que implican núcleos que no disponen de un servicio propio y que, por tanto, dependen de manera más crítica de la distancia o el tiempo en el que sus habitantes alcanzan el servicio. Los trayectos dentro de un mismo núcleo requerirían de completos callejeros de las poblaciones, información de la cual no se disponía, a la vez que de menor interés estratégico para la planificación. Asimismo, los trayectos efectuados utilizando transporte público no se han contemplado por no disponer de información suficiente y por considerar que el tratamiento de las rutas resultaría distinto, reservándose, pues, para análisis posteriores.

MATERIAL

Se exponen a continuación las características de los datos de partida, con el objetivo de describir y concretar el ámbito de estudio. En primer lugar, la capa gráfica correspondiente a los núcleos de población de Cataluña procedía del Departamento de Gobernación y Administraciones Públicas de la Generalitat de Catalunya, y estaba disponible en 3 tipos de entidades: puntos, líneas y polígonos (Figura 1). Cada uno de los ficheros estaba asociado a una tabla de atributos de los núcleos, entre los cuales se encontraba la población censada en el año 2005, dividida por sexos. El total de núcleos de población era de 3199, de los cuales 60 contaban con población igual a 0. Estos núcleos fueron descartados de la base utilizada en el estudio; la mayoría eran polígonos industriales o núcleos deshabitados, para los cuales no se consideró relevante investigar la proximidad a los centros sanitarios. Así pues, los núcleos de población tenidos en cuenta en el estudio han sido los 3139 correspondientes a los núcleos con población registrada en la base de datos del Departamento de Gobernación en el año 2005.

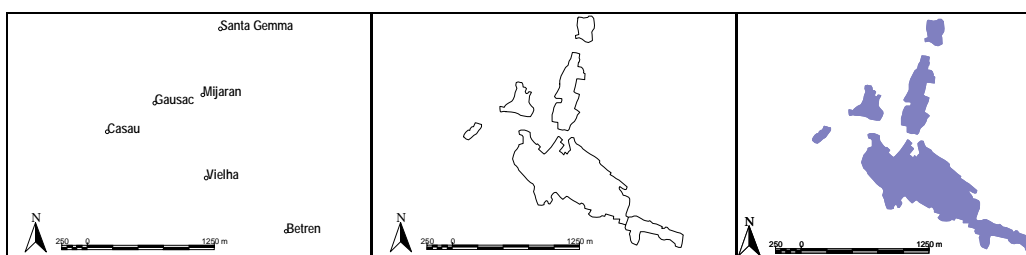


Figura 1. Ejemplo de los ficheros de núcleos de población proporcionados por el Departamento de Gobernación y Administraciones Públicas. A la izquierda fichero de puntos, en el centro fichero de arcos y a la derecha fichero de polígonos.

Las ubicaciones de los centros sanitarios se obtuvieron del mismo Departamento de Salud, el cual contaba con una base cartográfica de puntos asociada a una extensa base de datos descriptiva de las características de cada centro sanitario y de los servicios ofrecidos por cada uno. Los datos correspondían también al año 2005. El total de centros sanitarios era de 1546, de tipologías y servicios diversos, como se aprecia en la Figura 2.

Para calcular los desplazamientos entre núcleos y centros se utilizó un grafo de carreteras (O'Sullivan y Unwin, 2003; Laurini y Thompson, 1992) proporcionado por el Departamento de Política Territorial y Obras Públicas (DPTOP) de la Generalitat de Catalunya. El grafo consistía en un fichero de arcos que representaba el trazado de las vías de comunicación de Cataluña. Según especificaciones del mismo Departamento, correspondía a un grafo 2D, elaborado a partir de cartografía 1:50000 en la Región Metropolitana de Barcelona y 1:250000 para el resto de Cataluña. Los atributos asociados a los arcos eran, entre otros, la nomenclatura de la vía, la velocidad de recorrido libre, la clasificación funcional de la carretera y la IMD (intensidad media diaria) de tráfico (ver Figura 2).

Las velocidades de recorrido libre estaban calculadas a partir de cartografía 1:5000 del año 2003 para las carreteras de las redes básica y comarcal, mientras que para la red local y pistas generalmente eran establecidas en función del tipo de vía. Las características concretas para cada tipo de carretera eran las siguientes:

- Red básica: calculada según flujo libre y limitada superiormente a 120 km/h

- Red comarcal: establecida de forma genérica a 60 km/h, aunque se calculó la velocidad de flujo libre para algunas
- Red local: establecida de forma genérica a 50 km/h
- Pistas y vías no catalogadas: establecida de forma genérica a 19 km/h

Cabe remarcar que las velocidades utilizadas no corresponden a velocidades reales de circulación, en el sentido de que no son velocidades medidas *in situ* en el terreno, sino que son modelizadas en función de los trazados y tipologías de las vías. Esta particularidad y el hecho de que correspondan al año 2003 hace que los resultados obtenidos sean menos optimistas a los esperados en condiciones reales en la actualidad.

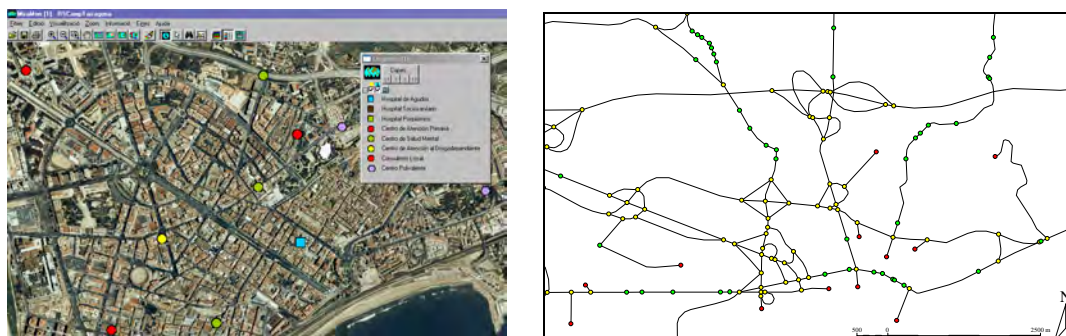


Figura 2. A la izquierda, muestra de la capa de localización de centros sanitarios, simbolizados mediante formas y colores diferentes sobre una ortofotografía 1:5000 (ICC). A la derecha, muestra del grafo de carreteras con sus correspondientes arcos y nodos. Los nodos en verde indican cambios en los atributos de la vía.

METODOLOGÍA

Como ya se ha comentado, debido a las especificaciones de los distintos servicios disponibles en cada centro sanitario en la base de datos de centros, han podido llevarse a cabo análisis específicos teniendo en cuenta sólo los centros de un solo tipo o con un tipo determinado de servicio. A la vez, y por disponer también de las divisiones administrativas sanitarias en que se divide el territorio catalán, propias de la Administración sanitaria catalana y proporcionadas por el propio Departamento de Salud, han podido efectuarse análisis territoriales dentro de cada división sanitaria, prescindiendo de los demás núcleos y centros existentes. Además, se han llevado a cabo análisis únicamente teniendo en cuenta los centros y no los núcleos, estudios de interés para conocer la proximidad y dependencia de los servicios entre si. Los diferentes niveles de análisis y las grandes tipologías de servicios incluidas en cada uno se especifican en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de los distintos niveles de análisis efectuados y de las tipologías de servicios incluidas en cada uno.

Nivel	General	Gobiernos Territoriales de Salud	Áreas Básicas de Salud	Centros de Atención Primaria	Consultorios locales
Servicios analizados					
Red de atención primaria (2 tipos de centros)	✓		✓		✓ (sólo a Centros de Atención Primaria)
Red hospitalaria de utilización pública (1 tipo de centro)	✓	✓		✓	
Salud mental y adicciones (7 tipos de centros)	✓	✓		✓	
Sociosanitario (3 tipos de centros)	✓	✓		✓	

El total de casos estudiados fue de 38 diferentes en relación a los núcleos origen y los centros de destino. En una primera aproximación, el análisis general ofrece datos sobre la proximidad de las diferentes tipologías de servicios a todos los núcleos de población de Cataluña, sin tener en cuenta ninguna división territorial sanitaria. En una segunda aproximación, se ha estudiado la accesibilidad de los centros dentro de las propias divisiones administrativas sanitarias, concretamente dentro de las Áreas Básicas y los Gobiernos Territoriales de Salud. En una tercera aproximación que sólo implicaba los centros sanitarios, las distancias calculadas indican las proximidades de los consultorios locales a los centros de atención primaria, y de éstos al resto de servicios.

Importación de los datos

En primer lugar, y en el caso de las capas de núcleos de población y del grafo de carreteras, hubo que transformar los datos de partida, originalmente en formatos shapefile de ESRI (Environmental Systems Research Institute, 1998), a formatos compatibles con el *software* a utilizar en el trabajo, el SIG MiraMon. Este procedimiento no fue necesario para el caso de la capa de centros sanitarios, que el Departamento de Salud había elaborado en el formato propio de MiraMon (.pnt). Mediante la herramienta de importación de ficheros vectoriales de MiraMon se transformaron las capas de núcleos y el grafo de carreteras a ficheros de puntos (.pnt) y de arcos (.arc) respectivamente.

En este último caso hubo que descartar el proceso de estructuración topológica que ofrece el programa, para no perder las superposiciones de carreteras a distintos niveles. La estructuración topológica de arcos (Bonham-Carter, 1994; Franch, 1995) exige la existencia de un nodo en la intersección entre dos arcos para mantener la coherencia topológica, pero esto implica que los arcos se encuentran todos en un mismo plano y, por tanto, a la misma altura, con lo cual no permite representar superposiciones de viales a distintos niveles debidos, por ejemplo, a la existencia de puentes. Estos casos son abundantes en una red de carreteras y deben mantenerse sin estructurar, para evitar generar conexiones no reales entre vías de comunicación (Figura 3).

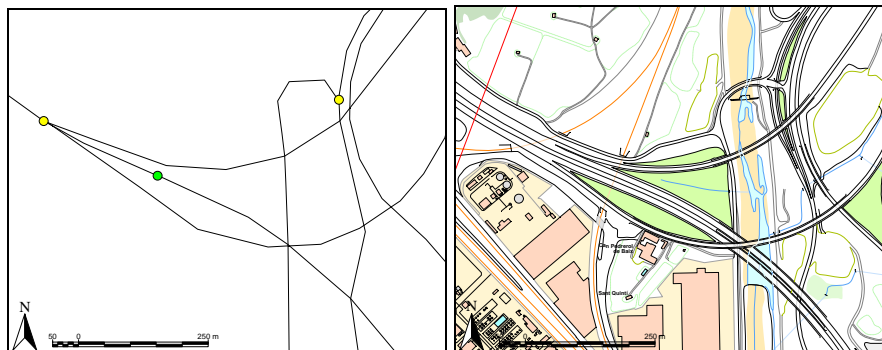


Figura 3. En la figura de la izquierda puede observarse cómo algunos arcos que cruzan con otros forman intersecciones estableciéndose conexiones entre las dos vías (existencia de nodos) y, en cambio, en otros casos no existe intersección (ausencia de nodos), lo que significa que las carreteras se cruzan a distinto nivel y, por tanto, no hay posibilidad de conexión entre ellas en ese punto, como puede apreciarse en la figura de la derecha, correspondiente a una captura del Mapa Topográfico 1:5000 de la zona (ICC), con el trazado de las vías de comunicación y sus correspondientes puentes.

Descripción del módulo Rutes

El módulo Rutes, diseñado a partir de este estudio e incorporado posteriormente al SIG MiraMon, ha sido la herramienta utilizada para el cálculo de las rutas óptimas. Su función consiste en determinar las rutas que minimizan el desplazamiento para ir de un conjunto de localizaciones origen (ej.: núcleos de población) a un conjunto de posibles localizaciones destino (ej.: centros sanitarios), ya sea en términos de distancia, tiempo, o bien a partir de cualquier otra variable (impedancia) que represente el coste del desplazamiento.

Las localizaciones origen y las posibles localizaciones destino deben estar conectadas a la red que define el conjunto de las posibles rutas (ej.: red de carreteras). Eso significa que deben corresponder a nodos de la red (puntos en los cruces o en los cambios de atributos a lo largo de la red de carreteras), ya que las rutas se calculan partiendo de un nodo origen de la red y van recorriendo arcos acumulando costes hasta encontrar un nodo destino. Por este motivo, los nodos deben llevar información sobre su función (origen o destino) en las rutas, la cual debe establecerse en un campo de la base de datos de los nodos, que el usuario debe crear y rellenar. Los valores aceptados para este campo son:

- "O", para los nodos origen.
- "D", para los nodos destino .
- "A", en ambos casos, o sea, para los nodos origen y destino a la vez.
- "", en blanco para los nodos que no sean origen ni destino.

Por su lado, los arcos que definen la red (carreteras, en este caso) determinan las conexiones directas entre nodos, y en su base de datos deben existir campos que definan los costes asociados a cada conexión (ej.: longitud para calcular la distancia y velocidad de circulación para calcular el tiempo).

El fichero resultado es una tabla que permite establecer una relación entre cada nodo origen y un nodo destino que optimiza su recorrido, con los costes de la ruta óptima encontrada entre ellos (siempre que exista al menos una sucesión de arcos que conecte el nodo origen y el nodo destino, y su coste acumulado sea inferior al coste máximo especificado). De esta manera, un mismo nodo destino puede ser el final de uno o más caminos óptimos, o bien no serlo de ninguno.

La interfaz de la aplicación es la mostrada en la Figura 4.

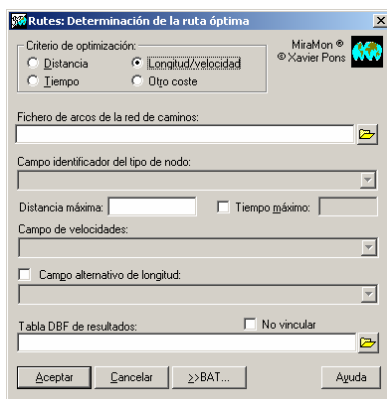


Figura 4. Interfaz de la aplicación Rutes, del *software* MiraMon.

Como puede observarse, en el proceso puede especificarse una distancia máxima y un tiempo máximo, con la finalidad de limitar las rutas dentro de unos valores deseados.

Preparación de la capa de nodos

Para empezar con los análisis de las rutas, debió adecuarse la información inicialmente disponible en capas de puntos (tanto los núcleos habitados como los centros sanitarios) para que ésta figurara en la capa de nodos de la red viaria a introducir en los cálculos y así poder especificar las funciones de los nodos. Con este fin, había que llevar a cabo dos pasos: seleccionar el nodo más cercano a cada punto como representante de esa entidad y etiquetarlo en un campo nuevo con su función en los cálculos.

Este segundo paso había que realizarlo para cada caso analizado (es decir, el valor del campo indicativo de la función del nodo debía ser diferente según el análisis: análisis general con todos los núcleos y todos los centros sanitarios, análisis sólo con los núcleos y centros de una división administrativa concreta, distancias entre

consultorios locales y Centros de Atención Primaria, etc.). Por este motivo, se automatizaron los procesos mediante programación BATCH (Microsoft Corporation, 2008; Dearwent et al., 2001). Para la asignación de las características de los puntos a los nodos más cercanos, se desarrolló una nueva opción en el módulo AtriTop del mismo SIG MiraMon.

El módulo AtriTop permite la transferencia de atributos desde una base gráfica a otra a través de una relación geométrica entre ellas. Puede transferir atributos desde una base de puntos o de arcos a una base de polígonos que los contenga o, viceversa, transferir a los puntos o a los arcos los atributos del polígono en el cual están, etc. En la nueva opción desarrollada, es posible transferir atributos desde una base de puntos a una base de nodos, dentro de una distancia especificada (ver Figura 5).

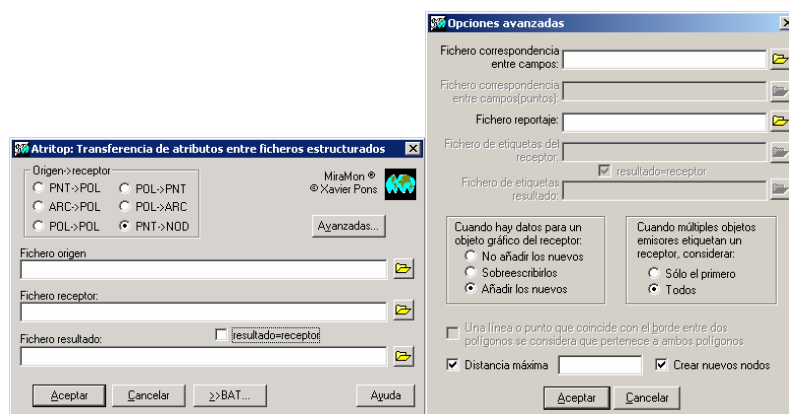


Figura 5. Vista de la opción PNT → NOD del módulo AtriTop. En las opciones Avanzadas puede especificarse una distancia máxima y la opción de crear nuevos nodos.

La aplicación detecta, alrededor de cada punto, el nodo más cercano (en este caso de la red de carreteras) y le asigna los atributos temáticos del núcleo o centro representado por aquel punto. Permite definir, además, una distancia máxima entre los puntos y los nodos, a partir de la cual ya no se asignan los atributos a los nodos siguientes por considerarlos demasiado alejados. Esta opción resulta útil para acotar la dispersión, aunque deja sin transferir los atributos de los puntos afectados. Para mitigar en parte este efecto, existe la opción Crear nuevos nodos, que permite transformar en nodo un vértice de un arco si éste se encuentra dentro de la distancia máxima y no existe un nodo, o bien partir un arco por el lugar más cercano e insertar un nodo de nueva creación, en caso de no existir ni un nodo ni un vértice, siempre dentro de la distancia especificada.

Utilizando la opción PNT → NOD del módulo AtriTop, se transfirieron primeramente los atributos de los núcleos de población al fichero de nodos y posteriormente, sobre el resultado de esta primera transferencia, se añadieron los atributos de los centros sanitarios. El objetivo era disponer de la capa de nodos con la información correspondiente a los núcleos de población y a los centros sanitarios en su tabla asociada, de manera que con una consulta fuera posible saber si un nodo representaba a un núcleo de población, a un centro sanitario, a ambas cosas a la vez, o bien a ninguna de las dos. En la Figura 6 se muestra la tabla original de nodos y la resultante de las aplicaciones de AtriTop, con los campos añadidos correspondientes a la información de núcleos y centros.

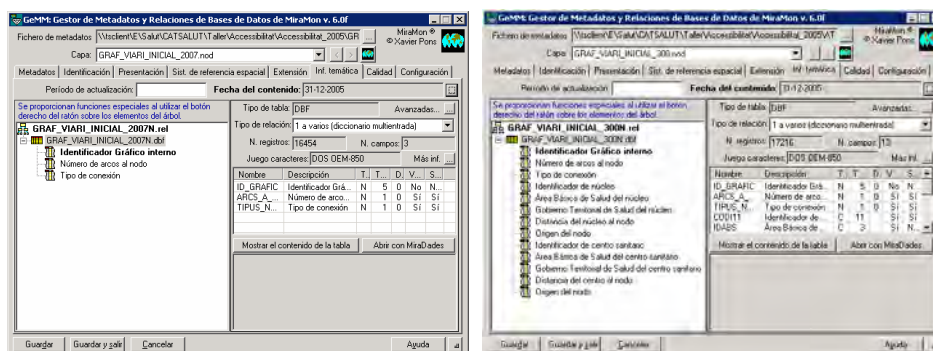


Figura 6. A la izquierda, tabla original de la capa de nodos con sus campos geométricos, y a la derecha resultado de la transferencia de atributos, con los campos añadidos correspondientes a los núcleos y los centros. Se añadieron los identificadores de núcleo y centro, así como su pertinencia a Áreas Básicas y Gobiernos Territoriales, para los análisis dentro de estas divisiones administrativas. Automáticamente se guardan la distancia del punto original al nodo y el origen del nodo etiquetado (existente, creado a partir de un vértice o añadido).

Se creyó importante utilizar la distancia máxima para no permitir una dispersión demasiado grande de las ubicaciones originales, que podría deformar los resultados, ya que en algunos casos unos metros más o menos podían derivar en diferencias importantes de distancia y tiempo. La decisión sobre la distancia máxima a aplicar fue tomada después de realizar pruebas con varias distancias (desde 50 hasta 1000 metros) y analizar la cantidad de núcleos y centros que quedaban fuera del alcance de un nodo en el radio especificado y el grado de desplazamiento de los atributos asignados dentro del radio (después de utilizar la función Crear nuevos nodos). Era necesario obtener un compromiso entre el mínimo número de atributos no transferidos y el mínimo desplazamiento de éstos para ubicarse en un nodo.

Después de las diferentes pruebas, la distancia límite de 300 metros fue la escogida por cumplir el compromiso de no alejar mucho los atributos de sus ubicaciones originales (en el peor de los casos 0.3 km x 19 km/h \approx 57 segundos) y dejar de transferir un número razonable de atributos que, a consecuencia, deberían ser transferidos manualmente. Después de aplicar la transferencia de los atributos de los núcleos de población a los nodos con la distancia máxima de 300 metros y la opción de Crear nuevos nodos, 593 núcleos quedaron sin nodo asignado, lo que denotó que el grafo de carreteras era pobre en su conectividad a pequeños núcleos.

Para conseguir tener estos núcleos a una distancia de menos de 300 metros de un nodo sin modificar sus ubicaciones originales, la única solución era digitalizar los tramos de carretera necesarios, que en la mayoría de los casos eran de corto recorrido, para acercar la red viaria a la localización de los núcleos. Esta medida modificaba la red proporcionada por el Departamento de Política Territorial y Obras Públicas, pero se creyó más oportuna que utilizar ubicaciones de núcleos y centros con unos errores de localización superiores a 300 metros. El procedimiento seguido para la digitalización de los nuevos tramos se describe a continuación.

Tabla 2. Distribución estadística por tipo de vía de los valores del campo de velocidad en el grafo viario de carreteras proporcionado por el Departamento de Política Territorial y Obras Públicas.

Autopista	Moda: 120.0000	Vía Preferente 1 calzada	Moda: 90.0000
	Media: 112.3066		Media: 99.2490
Carretera 2 calzadas	Moda: 95.0000	Vía Preferente 2 calzadas	Moda: 120.0000
	Media: 94.5455		Media: 103.0783
Carretera	Moda: 50.0000	Carretera (en ciudad)	Moda: 15.0000
	Media: 45.0520		Media: 23.9002

La solución adoptada fue añadir al grafo viario original de carreteras los tramos necesarios para acabar conectando todos estos núcleos (o centros, dado que el mismo proceso fue seguido para los centros sanitarios) a la

red viaria con una distancia inferior a 300 metros entre puntos y nodos. Los datos correspondientes al grafo original permanecieron intactos, añadiéndose tan sólo los tramos necesarios, diferenciados de los originales por un campo distintivo en la tabla asociada del fichero de arcos.

Para determinar la velocidad de circulación asociada a cada nuevo tramo digitalizado, se estudió primero la distribución estadística de las velocidades existentes en el grafo original por tipo de vía (Tabla 2).

Para definir las categorías de viales que se iban digitalizando, se utilizó el Mapa Topográfico vectorial 1:50000 del Instituto Cartográfico de Cataluña, que distingue autopistas, vías convencionales, vías preferentes y vías no catalogadas en la capa de Infraestructuras de comunicación, así como viales urbanos en la capa PoblamentLin. La capa Infraestructuras de comunicación también detalla la existencia de uno o dos carriles en el vial. Estas categorías eran similares a las diferenciadas en el grafo viario a utilizar en el estudio, por lo que fue fácil establecer una relación entre tipos de vía y asignar, por tanto, las velocidades (Tabla 3).

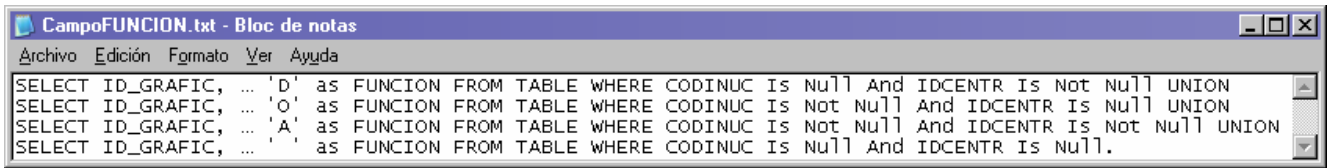
Por lo que refiere a la parte gráfica, se utilizó el mapa de carreteras secundarias del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda para copiar los recorridos, ya que con los viales del Mapa Topográfico 1:50000 la escala era mucho más detallada y, por tanto, más difícil de digitalizar, a la vez que no era necesaria su precisión, teniendo en cuenta la escala del grafo viario original (1:50000 en la Región Metropolitana y 1:250000 en el resto de Cataluña). La red de carreteras secundarias de Medio Ambiente no lleva ninguna información de tipo de vía, por eso fue necesario extraer esta información del Mapa Topográfico.

Tabla 3. Correspondencia entre los tipos de vía del Mapa Topográfico 1:50000 y las categorías del grafo de carreteras del DPTOP y velocidades asociadas.

Categoría Mapa Topográfico	Categoría Grafo Viario	Velocidad asignada
Autopistas	Autopista	110
Vías Preferentes 1 calzada	Vía Preferente 1 calzada	100
Vías Preferentes 2 calzadas	Vía Preferente 2 calzadas	100
Vías Convencionales 1 calzada	Carretera	45
Vías Convencionales 2 calzadas	Carretera 2 calzadas	95
Vías Urbanas	Carretera (en ciudad)	25
Caminos	-	20

Una vez digitalizados los tramos necesarios para conectar los 593 núcleos que no habían podido ser traspasados a los nodos con un distancia límite de 300 metros, volvió a realizarse la transferencia, con la nueva red ampliada de carreteras, consiguiéndose esta vez traspasar los atributos de los 3139 núcleos de población. A continuación se procedió a realizar el mismo procedimiento con los centros sanitarios. Sobre la capa de nodos de la nueva red de carreteras ya etiquetada con los atributos de los núcleos, se aplicó la transferencia para los atributos de centros y con una distancia igualmente de 300 metros. En este caso, el número de centros no transferidos fue de 81. Igualmente, se modificó el grafo viario con los mismos criterios anteriores, para conseguir asignar los atributos de los 1546 centros sanitarios al volver a efectuar la transferencia.

Una vez los nodos etiquetados con las características de los puntos representados, era necesario crear y llenar el campo descriptivo de la función de los mismos en los análisis de rutas, según estas características y en función del tipo de análisis a efectuar. Para ello sólo hacía falta realizar las consultas pertinentes a los campos transferidos y establecer la función de los nodos como origen (O), destino (D), ambos (A) o ninguna () según la información contenida en los campos identificadores de núcleo y de centro sanitario. El proceso se automatizó para todos los casos distintos, mediante consultas en lenguaje SQL (Structured Query Language; Groff y Weinberg, 1998). Una muestra del tipo de consultas efectuadas se ofrece en la Figura 7.



```
SELECT ID_GRAFIC, ... 'D' as FUNCION FROM TABLE WHERE CODINUC IS Null And IDCENTR IS Not Null UNION
SELECT ID_GRAFIC, ... 'O' as FUNCION FROM TABLE WHERE CODINUC IS Not Null And IDCENTR IS Null UNION
SELECT ID_GRAFIC, ... 'A' as FUNCION FROM TABLE WHERE CODINUC IS Not Null And IDCENTR IS Not Null UNION
SELECT ID_GRAFIC, ... '' as FUNCION FROM TABLE WHERE CODINUC IS Null And IDCENTR IS Null.
```

Figura 7. Ejemplo de consulta SQL efectuada para construir el campo FUNCION necesario para especificar las funciones de los nodos en el cálculo de rutas.

Por otro lado, después de la transferencia de atributos, un mismo nodo podía estar representando dos tipos de servicios sanitarios distintos ubicados en el mismo edificio o bien dentro de la misma población a menos de 300 metros. En estos casos, el nodo figuraba en la tabla dos o más veces, con una de las informaciones cada vez. Estos duplicados se revisaron para eliminar los multiregistros y adaptar el campo FUNCION para que indicara la función única del nodo en cada análisis concreto, según la tipología de centros en estudio. Este proceso se efectuó también mediante sentencias SQL, todavía más complejas, para asignar a cada nodo una sola función O, D o A, teniendo en cuenta los diferentes registros del mismo nodo para cada caso a analizar.

Cálculo de las rutas

Después de todos los procesos preparatorios de los datos de entrada para el cálculo de las rutas óptimas, se procedió a realizar los análisis mediante el módulo Rutes de MiraMon. De manera automatizada mediante procedimientos BATCH para cada análisis, se especificó el fichero de arcos con la red de carreteras, se indicó el campo FUNCION de los nodos y el campo con las velocidades y se establecieron las tablas de salida. La distancia máxima y el tiempo máximo solicitados para limitar los cálculos se establecieron en 40000000 km y 31536000 minutos, para asegurar que para cada origen se encontraba un destino, ya que el objetivo era cuantificar estas distancias y tiempos, independientemente de su valor.

Finalmente, las tablas resultado de este proceso fueron enlazadas con las capas originales para estudiar las relaciones entre orígenes y destinos de manera gráfica y real, prescindiendo de los nodos, así como para obtener información más elaborada, como mapas y tablas estadísticas, que se muestran en el apartado de Resultados.

RESULTADOS

El primer nivel de resultados corresponde a las estadísticas de las distancias y tiempos obtenidos para cada tipo de análisis efectuado. A partir de estos datos, se generaron tablas y gráficos más elaborados y comparativos, así como mapas de los resultados. Dentro de este apartado se ofrece sólo una muestra de los resultados desarrollados, ya que el volumen generado es demasiado grande para incluirlo en un artículo de las características y objetivos de éste y debido a que algunos de ellos son únicamente de un interés muy específico en la gestión de los recursos sanitarios. La tipología de resultados generados depende del nivel territorial de análisis.

Análisis de accesibilidad global

Para el caso del análisis de todos los núcleos de población con todos los centros y servicios sanitarios a la vez, se desarrollaron tablas estadísticas, así como gráficos y mapas de intervalos. A continuación se ofrece una tabla interesante con las distancias y tiempos medios de recorrido generales en Cataluña para el acceso a cada tipología de servicio sanitario (tabla 4).

También se ofrece una reproducción de los gráficos generados con estadísticas de número de núcleos y población para cada servicio sanitario analizado a nivel de toda Cataluña, así como un ejemplo de mapa de distribución de los núcleos según los intervalos de tiempo de recorrido. Ambos resultados se han elaborado también para distancias.

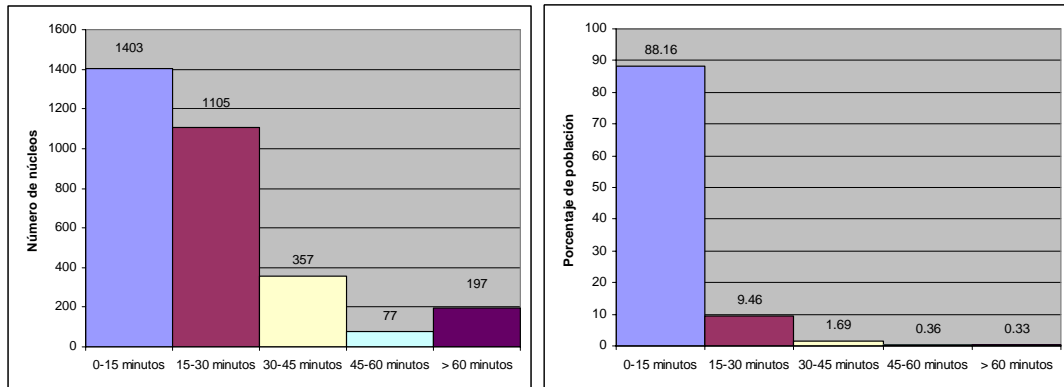


Figura 8. Reproducción de gráficos estadísticos para el caso general de Cataluña. Distribución del número de núcleos y el total de población en intervalos de tiempo mínimo a los Centros de Día de Salud Mental.

Tabla 4. Distancias y tiempos medios y medios ponderados por habitante en el nivel de análisis general para cada tipología de servicios.

	Distancia media (km)	Distancia media ponderada por hab. (km)	Tiempo Medio (min.)	Tiempo medio ponderado por hab. (min.)
Centros de Atención Primaria	7.20	1.00	9.32	1.18
Centros de Atención Primaria y Consultorios locales	2.42	0.20	3.85	0.42
Hospitalización de Agudos	17.37	5.26	18.64	5.41
Centros de Salud Mental de Adultos	15.30	3.76	17.06	4.22
Centros de Salud Mental Infantil y Juvenil	15.81	4.21	17.56	4.99
Centros de Día de Salud Mental	21.68	4.91	23.26	5.37
Hospitales de Día de Salud Mental	33.49	9.08	32.58	8.98
Centros de Atención al Drogodependiente	17.11	4.98	18.70	5.34
Centros de Internamiento de Agudos de Salud Mental	38.90	12.15	36.02	10.80
Centros de Media y Larga Estancia de Salud Mental	39.86	16.73	35.57	14.27
Hospitales de Día Sociosanitarios	20.34	5.13	21.97	5.32
Centros Hospitalarios Sociosanitarios de Media Estancia y Convalecencia	17.52	5.00	19.15	5.32
Centros de Hospitalización Sociosanitarios de Larga Estancia	16.91	4.67	18.52	4.93

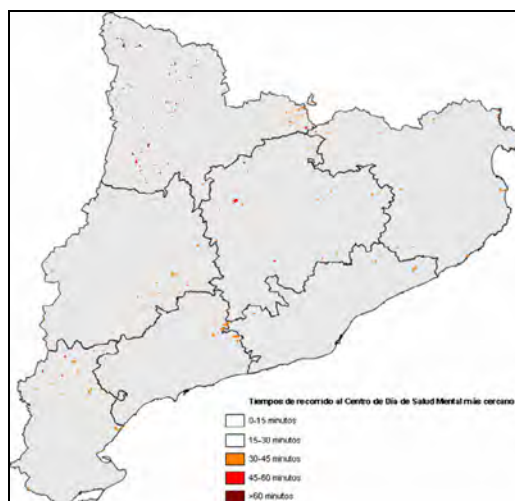


Figura 9. Mapa elaborado para el caso general de Cataluña. Distribución de los núcleos de población en función de los intervalos de tiempo mínimo a los Centros de Día de Salud Mental

A partir de estos resultados, también se analizó la situación en cada Región Sanitaria, la división administrativa sanitaria de más extensión, resumiéndose mediante tablas estadísticas y gráficos como el que se muestra a continuación:

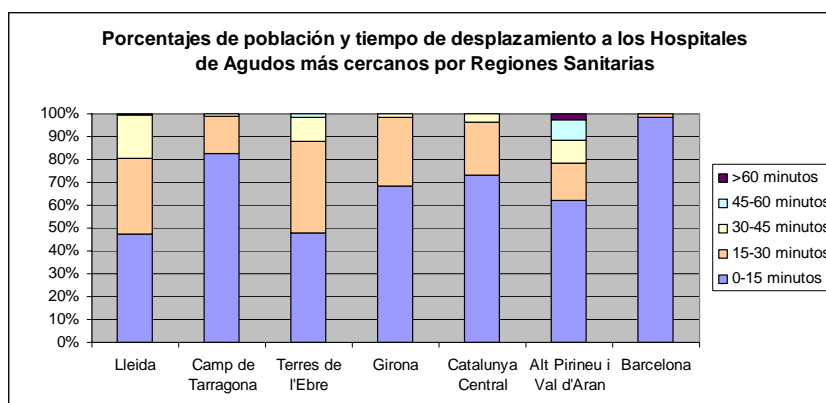


Figura 10. Gráfico resumen de la situación en las distintas Regiones Sanitarias. Porcentajes de población por intervalos de tiempo para el caso de los Hospitales de Agudos.

Análisis de accesibilidad específica de los Gobiernos Territoriales y la Áreas Básicas de Salud

Para cada tipo de servicio sanitario se dispone de tablas con las estadísticas de núcleos y población por intervalos de tiempo y distancia dentro de las divisiones territoriales sanitarias correspondientes a los Gobiernos Territoriales de Salud y las Áreas Básicas de Salud. La tabla siguiente detalla los datos de distancia media y tiempo medio para un Gobierno Territorial concreto.

Tabla 5. Distancias medias y tiempos medios a los distintos servicios sanitarios para el Gobierno Territorial Baix Camp.

GOBIERNO TERRITORIAL BAIX CAMP	Distancia media (km)	Tiempo medio (minutos)
Hospitalización de Agudos	14,53	13.28
Centros de Salud Mental de Adultos	15,00	13.38
Centros de Salud Mental Infantil y Juvenil	15,00	13.38
Centros de Día de Salud Mental	15,10	13.00
Hospitales de Día de Salud Mental	15,10	13.00
Centros de Atención al Drogodependiente	14,59	12.84
Centros de Internamiento de Agudos de Salud Mental	15,10	13.06
Centros de Media y Larga Estancia de Salud Mental	14,89	12.08
Hospitales de Día Sociosanitarios	14,29	11.65
Centros Hospitalarios Sociosanitarios de Media Estancia y Convalecencia	14,51	13.05
Centros de Hospitalización Sociosanitarios de Larga Estancia	14,45	11.84

En estos casos en que se disponía de datos para el interior de la propia división sanitaria, así como para el caso del análisis sin restricciones territoriales, se efectuaron comparaciones de las distancias y tiempos obtenidos para ambas situaciones, que permiten detectar las zonas con servicios más próximos en una división distinta a la suya, y estudiar, por tanto, la adecuación de los límites de las divisiones.

CONCLUSIONES

La estimación de la accesibilidad de los servicios públicos como medida de su adecuación a la distribución de la población a cubrir es posible mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica, y resulta útil en la planificación de dichos servicios. Proporciona un análisis cuantificado de su distribución territorial, que puede relacionarse con las características de la población atendida y facilitar la detección de puntos débiles en la oferta de servicios y detectar cambios demográficos y territoriales ocurridos o acciones necesarias.

Como conclusiones principales del estudio pueden destacarse las siguientes:

- en general la gran mayoría de núcleos y de población dispone de la mayoría de servicios sanitarios en distancias y tiempos aceptables e incluso muy aceptables.
- este efecto es consecuencia del hecho que la mayor parte de la población de Cataluña reside en los principales núcleos urbanos de grandes dimensiones, que son los que principalmente acogen los servicios sanitarios.
- por lo que refiere a las Regiones Sanitarias o a los Gobiernos Territoriales, existen diferencias destacadas entre algunas zonas, sobre todo para el caso de algunos servicios (Salud Mental, por ejemplo).
- estas diferencias se dan habitualmente siempre entre las mismas zonas, que resultan ser las de acceso más difícil (montañosas) y también las menos pobladas.

Para realizar un estudio completo, sería útil disponer de información de todos los medios de desplazamiento de los usuarios, incluyendo el transporte público y los desplazamientos a pie, que proporcionarían resultados más aproximados a la realidad. Mediante el acceso a información sobre líneas y frecuencias de paso de los distintos transportes públicos intraurbanos e interurbanos y el uso de callejeros completos y a escala detallada, podría llevarse a cabo un análisis más completo de la situación desde el punto de vista de todos los usuarios, con medios de acceso distintos a los servicios sanitarios públicos. También podría tenerse en cuenta la disponibilidad de transporte adaptado para personas con disminución de movilidad.

Asimismo, y para el caso del transporte privado por carretera, sería de utilidad, en un análisis futuro, obtener un grafo viario de mayor actualidad y con velocidades de circulación medidas en las propias carreteras, como mejor aproximación a los desplazamientos reales de los usuarios. Con esta información y el uso de los Sistemas de Información Geográfica pueden desarrollarse análisis interesantes y útiles en el campo de la planificación de servicios públicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ajenjo Cosp, M. y Alberich González, J. (2003): La utilització de la variable població en els indicadors d'accessibilitat. Avantatges i inconvenients. *Papers de Demografia*, 227.
- Bonham-Carter, G.F. (1994): *Geographic Information Systems for Geoscientists: modelling with GIS*. Pergamon, New York, 398 pp.
- Bosque Sendra, J. y Moreno Jiménez, A. (Coords.) (2004): *Sistemas de información geográfica y localización de instalaciones y equipamientos*. RA-MA, Madrid, 347 pp.
- Burrough, P.A. y McDonnell, R.A. (1998): *Principles of Geographic Information Systems*. Oxford University Press, Oxford.
- Brabyn, L. y Skelly, C. (2001): Geographical Access to Services, Health (GASH): modelling population access to New Zealand public hospitals. *SIRC 2001. The 13th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre*. University of Otago, Dunedin, New Zealand.
- Comissió de Mobilitat del Pacte Industrial y MCRIT. (2003): *Transport públic i treball. Disponibilitat de transport públic col·lectiu interurbà als polígons industrials de la Regió Mteropolitana de Barcelona*. Beta Editorial, Barcelona, 95 pp.
- Dearwent, S.M. et al. (2001): Locational uncertainty in georeferencing public health datasets. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 11: 329-334.
- Departament de Política Territorial i Obres Públiques (2005): *Estadístiques de síntesi. Xarxa viària per tipus de via*. Generalitat de Catalunya, Barcelona: <http://www10.gencat.net/ptop/AppJava/cat/estadistica/sintesi/sistema/carreteres/xarcat/index.jsp> [Consulta: 06.06.2008]
- Departament de Salut. Generalitat de Catalunya (2008): *Els serveis per a la salut: mirant cap al futur. Mapa sanitari, sociosanitari i de salut pública*. Generalitat de Catalunya, Barcelona, 825 pp: <http://www.gencat.net/salut/depsan/units/sanitat/html/ca/dir488/index.html> [Consulta: 06.06.2008]
- Escalona Orcao, A.I. y Díez Cornago, C. (2002): *Accesibilidad geográfica de la población rural a los servicios básicos de salud: estudio en la provincia de Teruel*. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 23 pp.
- Environmental Systems Research Institute (1998): *ESRI Shapefile Technical Description*. ESRI, USA, 34pp.
- Franch Gutiérrez, X. (1995): *Estructures de dades. Especificació, disseny i implementació*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 419 pp.
- Groff, J.R. y Weinberg, P.N. (1998): *Guía Lan Times de SQL*. Osborne McGraw-Hill, Madrid, 631 pp.

- Gutiérrez Puebla, J. y García Palomares, J.C (2002): Accesibilidad peatonal a la red sanitaria de asistencia primaria en Madrid, *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, vol. extraordinario, pp. 269-280.
- Idescat (2006): *Banc d'estadístiques de municipis i comarques. Indicadors demogràfics*. Generalitat de Catalunya, Barcelona: <http://www.idescat.net/> [Consulta: 06.06.2008]
- Kalogirou, S. y Mostratos, N. (2004): Geographical Acces to Health: modelling population access to Greek public hospitals. *7th Panhellenic Geographical Conference of the Hellenic Geographical Society. Physical Geography and the Environment-Sustainable Development and Planning*. HGS, Mytilene, Greece.
- Laurini, R. y Thompson, D. (1992): *Fundamentals of Spatial Information Systems*. Academic Press, London, 680 pp.
- Messina, J.P. et al. (2006): Evaluating Michigan's community hospital access: spatial methods for decision support. *International Journal of Health Geographics*, 5: 42, 18 pp.
- Microsoft Corporation (2008) *Using BATCH files*: <http://technet.microsoft.com/en-us/library/bb490869.aspx> [Consulta: 06.06.2008]
- Mitas, L. y Mitsova, H. (1999): Spatial Interpolation. En: Longley, P., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. y Rhind, D.W. (Eds.), *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. Wiley, pp. 481-492.
- Ohta, K. et al. (2007): Analysis of the geographical accessibility of neurosurgical emergency hospitals in Sapporo city using GIS and AHP. *International Journal of Geographical Information Science*, 21 (6): 687-698.
- O'Sullivan, D. y Unwin, D. (2003): *Geographic Information Analysis*. John Wiley & Sons, Hoboken (New Jersey), 436 pp.
- Pons, X. (2000): *MiraMon. Sistema de Informació Geogràfica y software de Teledetecció*. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, CREA, Bellaterra. <http://www.crea.uab.cat/MiraMon> [Consulta: 06.06.2008]
- Redondo, J.C. (2003): Estudio de accesibilidad y cobertura de la red de asistencia sanitaria de la Comunidad de Madrid. *GeoSanidad*, 10: 1-8.
- Redondo, J.C. (2005): Estudio de accesibilidad y cobertura de la red de transporte público y asistencia sanitaria de la Comunidad de Madrid. II. Accesibilidad a los centros de atención especializada. *GeoSanidad*, 15: 1-8.
- Rietveld, P. y Woudenberg, S.van (2003): The utility of travelling when destinations are heterogeneous. How much better is the next destination as one travels further? *Journal of Geographical Systems*, 5: 207-222.
- Salado García, M.J. et al. (2006): Movilidad sostenible y SIG. Propuesta de evaluación del transporte público en Alcalá de Henares. *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas. Actas del XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*. Editorial Universidad de Granada, Granada, pp.: 1777-1794.

Santos Preciado, J.M. y Cocero Matesanz, D. *Los SIG raster en el campo medioambiental y territorial. Ejercicios prácticos con IDRISI y MiraMon*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, 430 p.

Thill, J.C. y Kim, M. (2005): Trip making, induced travel demand, and accessibility. *Journal of Geographical Systems*, 7: 229-248.

Varela García, F.A. (2004): Experiencias sobre los cálculos de accesibilidad mediante SIG. En: Conesa García, C., Álvarez Rogel, Y. y Granell Pérez, C. (Eds.), *El empleo de los SIG y la teledetección en planificación territorial*. Universidad de Murcia, Murcia.

Varela García, F. A. et al. (2006): Aplicación de los SIG y servidores de mapas en el análisis de la accesibilidad territorial en áreas metropolitanas. Experiencia en los campus de la Universidad de A Coruña. *Actas del XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*. Editorial Universidad de Granada, Granada, pp.: 1821-1831.

Rodríguez Pérez, José Ramón; Álvarez Tabeada, María Flor y Peters, Stefan (2008): Aplicación de los SIG para determinar la variabilidad espacial de parámetros de calidad del mosto de uva. Experiencia en la D.O. Bierzo. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 412-423. ISBN: 978-84-96971-53-0.

APLICACIÓN DE LOS SIG PARA DETERMINAR LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE PARÁMETROS DE CALIDAD DEL MOSTO DE UVA. EXPERIENCIA EN LA D.O. BIERZO

Rodríguez Pérez, José Ramón; Álvarez Tabeada, María Flor y Peters, Stefan

ESTIA. Universidad de León. Avenida de Astorga s/n, 24400-Ponferrada (León). jr.rodriguez@unileon.es, flor.alvarez@unileon.es, stefan.peters@directbox.com

RESUMEN

Los estudios tradicionales sobre parámetros de calidad del mosto abarcan grandes bloques de viñedo y se centran en el determinar la evolución temporal de estas variables para decidir la época de vendimia más adecuada. En este trabajo se propone una metodología para el análisis de la variabilidad espacial de los parámetros del mosto y se exponen los resultados obtenidos en la DO Bierzo, para cuatro variedades diferentes de vid. Los resultados permiten identificar zonas homogéneas en cuanto a parámetros de calidad del mosto se refiere, aportando valiosa información al viticultor para aplicar las técnicas de cultivo más adecuadas en función del tipo de mosto/vino a producir. El método se basa en la utilización de técnicas estadísticas y geoestadísticas con Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Palabras Clave: calidad de mosto, geoestadística, SIG, variabilidad espacial, viticultura de precisión

ABSTRACT

Traditional research about grape juice quality parameters comprises large vineyard blocks and is focused on studying their temporal evolution in order to decide the optimal grape harvest time. This research paper presents a methodological approach to analyse spatial variability in grape fruit parameters, and shows the results obtained for four grapevine types in the Bierzo Designation of Origin. Results allow identifying homogeneous areas concerning grape juice quality parameters, reporting meaningful information for the vine grower, so that the most suitable crop techniques will be applied according to the desired type of grape juice/wine. The method is based on using statistics and geostatistics together with Geographical Information Systems (GIS).

Key Words: grape juice quality, geostatistics, GIS, spatial variability, precision viticulture.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la variabilidad espacial de parámetros relacionados con la calidad y cantidad de uva en un viñedo es un aspecto fundamental para la producción de vino. Lo más habitual es que las cepas de una viña ocupen extensiones de terreno con características ambientales similares (climatología, geología, topografía, etc.), que las líneas de plantación se orienten en una dirección, que se apliquen idénticas labores culturales y el mismo sistema de cultivo, que se utilice el mismo patrón y variedad, etc. Sin embargo la uva producida es diferentes (en cantidad y calidad) para cada parte de la viña y se podrían identificar bloques más homogéneos.

Para caracterizar los viñedos algunos viticultores y bodegueros tratan de relacionar los vinos producidos con los tipos de suelo de sus viñas. De Andrés-de Prado et al. (2007), evidenciaron la relación existente entre las características de los mostos (pH, acidez total y contenido en azúcares) y vinos (grado alcohólico, acidez y color) y variables del suelo fácilmente medibles como pH, materia orgánica, nitrógeno total, etc. De esta forma se consigue una buena caracterización de los viñedos pero exige llegar a hacer vinificaciones, que están muy condicionadas por las condiciones climáticas anuales y procedimientos de elaboración.

Otras estrategias de caracterización de la producción de uva se centran en hacer muestreos de uva en localizaciones concretas y extrapolar los resultados para conseguir mapas continuos que permitan identificar bloques homogéneos. Esta es una técnica muy utilizada en viñedos de los “nuevos” países productores de vino (Australia, Chile, Estados Unidos, Nueva Zelanda y Sudáfrica). En Australia destacan los trabajos publicados por Bramley que ha desarrollado protocolos para, a partir de información puntual, hacer mapas continuos de rendimiento de uva (Bramley y Williams, 2001), parámetros de maduración y calidad de uva (Bramley, 2005) e incluso relación suelo/uva (Bramley, 2001). En Chile se han hecho trabajos similares para caracterizar suelos de viña (Flores, 2007), mapas de rendimiento de uva (Esser y Ortega, 2002) y parámetros de calidad de la uva y suelos (Esser et al., 2002). En España también se han llevado a cabo trabajos de viticultura de precisión en los que se elaboraron mapas de rendimiento, análisis químicos de peciolas de hoja de vid y su relación con imágenes de satélite (Arnó et al., 2005).

El diseño del muestreo (número y localización de las cepas para extraer el mosto) es una cuestión esencial para el éxito del trabajo. Bramley (2001) pone de manifiesto las diferencias obtenidas en valores medios de maduración (grados Baumé) y color según la intensidad de muestreo, concluyendo que no se pueden dar recomendaciones generales sobre el número de cepas a muestrear y que para hacer un buen muestreo es imprescindible conocer previamente la variabilidad espacial en la viña. En otros trabajos posteriores el mismo autor hace muestreos de 26 datos/ha (Bramley, 2005), para caracterizar mostos (grado de maduración, acidez total, pH, color y polifenoles) de Cabernet Sauvignon y Ruby Cabernet. La importancia del muestreo también quedó de manifiesto en el trabajo de Flores (2005): se utilizaron 10 puntos de muestreo por hectárea y se concluyó que el número de datos no fue suficiente para ajustar correctamente los semivariogramas. Arnó et al. (2005), utilizan mallas de muestreo entre 32 x 21 m y 25 x 42 m, según la homogeneidad de las viñas.

En todas las publicaciones citadas se explica la metodología seguida para la toma de muestras, protocolos analíticos de los parámetros del mosto y del suelo, etc., pero no se especifica claramente los pasos seguidos para obtener los mapas continuos a partir de los datos puntuales. El objetivo de este trabajo es obtener mapas continuos de parámetros del mosto por interpolación a partir de muestras obtenidas en cepas puntuales, explicando los pasos a seguidos en todo el proceso de interpolación.

ZONA DE ESTUDIO

El trabajo se desarrolló en la Denominación de Origen Bierzo (DO Bierzo), concretamente en cuatro parcelas de vid de la empresa Ribas del Cua S.A. situadas en el municipio de Cacabelos. La bodega y sus viñedos ocupan una extensión aproximada de 40 ha y están encuadrados entre la coordenadas 4720400 (N), 4719500 (S), 687600 (O) y 688800 (E) (coordenadas WGS84 proyectadas en UTM-29T). La Figura 1 muestra la localización dentro de la provincia de León de: la DO Bierzo, el municipio de Cacabelos y la ubicación de los viñedos estudiados.

Considerando los antecedentes comentados en el apartado de introducción, dentro de los viñedos se seleccionaron cuatro bloques (con cultivares de vid diferentes) en los que se seleccionaron las cepas de muestreo. Dentro de cada bloque se seleccionaron líneas (una de cada diez) y dentro de cada línea se marcaron cepas (una de cada veinte), definiendo una malla regular rectangular con una separación media entre cepas de 22 x 29 m, muestreándose unas 23 cepas/ha. En la Tabla 1 se caracterizan cuantitativamente las cepas de muestreo por bloque.

Tabla 1. Características de los puntos/cepas de muestreo en cada bloque de viña

Cultivar	Nº líneas	Nº cepas	Superficie (m ²)	Perímetro (m)	altitud media (m)
Mencía	5	45	19635,4	574,6	588,0
Cabernet Sauvignon	5	47	20841,6	597,0	582,0
Merlot	7	27	10677,7	529,3	570,0
Tempranillo	8	43	18744,1	620,0	600,0

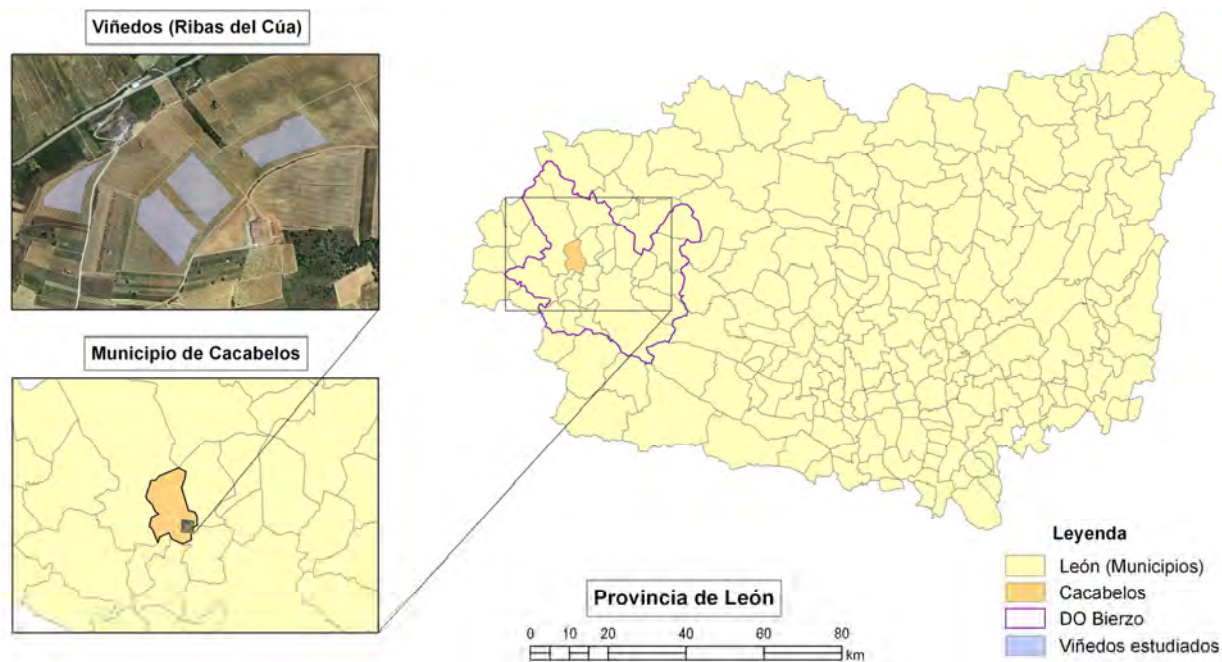


Figura 1. Localización de la zona de estudio

METODOLOGÍA

En este apartado se van a describir los métodos utilizados en los análisis de mosto, así como el proceso para crear los mapas de distribución espacial de los parámetros estudiados.

VARIABLES ANALIZADAS EN EL MOSTO DE UVA

Los parámetros analizados en el mosto de cada cepa de muestreo fueron: grado alcohólico probable (GAP), pH, acidez total (AT), índice de polifenoles totales (IPT) e intensidad colorante (I). Todos los análisis se hicieron siguiendo los métodos oficiales descritos en Reglamento (CEE) N° 2676/90 de la Comisión de 17 de septiembre de 1990, por el que se determinan los métodos de análisis comunitarios aplicables en el sector del vino.

El GAP se determinó por refractometría y se expresa como % vol. (a 20°C). Esta es la variable que más condiciona la época de vendimia puesto que el contenido en glúcidos de la uva (y la relación glucosa/fructosa) condicionará los procesos fermentativos para la obtención del vino.

La AT es la suma de los ácidos valorables del mosto cuando se lleva a pH neutro. Los ácidos más frecuentes son el tartárico, el málico y el láctico, todos ellos desempeñan un papel importante en las características organolépticas del vino. Para determinar la AT se realizó una valoración ácido-base utilizando hidróxido sódico (0,1 N) y Azul de Bromotimol (0,4 %) como indicador. Los resultados se expresan en g/L de ácido tartárico.

La determinación del pH en el mosto es una medida complementaria de la AT puesto que permite estimar la fuerza de los ácidos que contiene. El pH se midió mediante un potenciómetro con electrodo calibrado específico para mosto.

El IPT se obtuvo por la medida de la absorbancia del mosto a 280 nm, puesto que el núcleo bencénico característico de los polifenoles tiene su máximo de absorbancia a esta longitud de onda.

Las características cromáticas del mosto se determinaron mediante el índice de intensidad colorante (I) (índice de color o puntos de color). Este valor se deriva de la absorbancia a tres longitudes de onda dentro del espectro visible: 420, 520 y 620 nm. La suma de las absorbancias a las tres longitudes de onda, permitió estimar la intensidad colorante (I).

Interpolación

Para crear los mapas continuos de cada variable se utilizaron métodos de interpolación. El proceso de interpolación espacial permite estimar los valores de una variable dentro de un área definida, partiendo de los valores observados en un muestreo de esa zona. Mitas y Mitsova (1999) formulan el problema de la interpolación espacial como sigue: dados N valores de un determinado fenómeno $z_j, j = 1, \dots, N$ medidos en puntos discretos $r_j = (x^{1j}, x^{2j}, \dots, x^{dj}), j = 1, \dots, N$ dentro de una cierta región de un espacio d -dimensional, la operación de interpolar consiste en encontrar una función d -variable $F(r)$ que verifique la condición

$$F(r) = z_j \quad \forall j = 1, \dots, N$$

Las diferentes técnicas de interpolación utilizan funciones que se ajustan a esos requerimientos y que además exigen otras condiciones basadas en cercanía o vecindad (ponderación por distancias), conceptos geoestadísticos (kriging), suavizado y tensión (splines), etc. Los procedimientos suelen requerir tres pasos: definición de una malla sobre el área a interpolar, estimación de los pesos a aplicar para cada celda de la malla en función de los criterios definidos en el método y la estimación del valor de cada celda.

El procedimiento de interpolación ponderado por distancia inversa (inverse distance weighted interpolation-IDW) se basa en que el valor interpolado para una celda puede calcularse como una media ponderada de los valores muestreados dentro de una distancia fijada. La ponderación suele ser inversamente proporcional a una potencia de la distancia entre puntos, de tal forma que los valores de los puntos conocidos tiene más peso cuanto más próximos están a la celda cuyo valor se va a estimar (Slocum et al., 2005):

$$F(r) = \sum_{i=1}^n \omega_i z(r_i) \Leftrightarrow \hat{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n z(r_i)/d_i^k}{\sum_{i=1}^n 1/d_i^k}$$

donde \hat{Z} es el valor estimado para la celda, $z(r_i)$ es el valor del punto muestreado en la posición r_i , d_i es la distancia euclídea entre los puntos de valores a estimar y los muestreados, k es una potencia que afecta a la distancia y n es el número de puntos de muestreo que se usan en la ponderación. En este trabajo se ha utilizado $k=2$.

El método denominado kriging es similar al IDW en cuanto a que se superpone una malla sobre la zona de estudio y los valores estimados para cada celda son función de las distancias a los puntos de muestreo. Sin embargo en vez de considerar independientemente las distancias que hay entre los puntos muestreados, el kriging utiliza: (i) la autocorrelación espacial entre los propios puntos de muestreo y (ii) la autocorrelación espacial entre los puntos de muestreo y las celdas cuyos valores se pretende estimar (Slocum et al., 2005). Para estimar la autocorrelación espacial se suele usar como estadístico la semivarianza que puede expresarse como:

$$\gamma_h = \frac{\sum_{i=1}^{n-h} [z(r_i) - z(r_i + h)]^2}{2(n-h)}$$

donde γ_h es la semivarianza, $z(r_i)$ es el valor del punto muestreado en la posición r_i , h es un múltiplo de la distancia entre los puntos muestreados y n es el número de puntos muestreados. La semivarianza adquiere valores diferentes en función de la distancia entre los datos (a más separación, menos correlación entre los valores de altitud). La función que relaciona γ_h con h se denomina semivariograma y muestra la variación de la correlación entre los valores muestreados en función de la distancia entre ellos (Felicísimo, 1994):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [z(r_i) - z(r_i + h)]^2$$

Con los valores conocidos se crea el semivariograma experimental, al cual se ajustará una función teórica (esférica, exponencial, lineal, Gauss, etc.) para obtener el semivariograma modelizado. En este trabajo los semivariogramas se han ajustado a funciones de tipo exponencial, esférica y de Gauss. Introduciendo valores de distancia en el modelo se obtendrán los valores de semivarianza. En Isaaks y Srivastava (1989) y Schabenberger y Gotway (2005), se describen los fundamentos de geoestadística y funciones de ajuste más utilizadas.

Los valores interpolados para cada celda \hat{Z} se obtienen mediante una media ponderada de los valores de los puntos de muestreo $z(r_i)$ seleccionados. Los pesos ω_i asociados a cada punto de muestreo se eligen para minimizar la diferencia entre los valores estimados y los reales para cada celda:

$$F(r) = \sum_{i=1}^n \omega_i z(r_i) \Leftrightarrow \hat{Z} = \omega_1 z(r_1) + \omega_2 z(r_2) + \dots + \omega_n z(r_n)$$

Para obtener los valores ω_i se han de resolver ecuaciones lineales en las que intervienen los pesos y las semivarianzas entre los puntos, tanto muestreados (valores reales), como aquellos cuyo valor se pretende estimar (Slocum et al., 2005).

Criterios para comparar los métodos de interpolación

Con un mismo grupo de valores conocidos se puede hacer la interpolación por distintos métodos y para comparar los resultados finales se pueden usar diferentes criterios: exactitud entre los valores reales y los propuestos por el modelo en las localizaciones muestreadas, exactitud de los valores estimados en las localizaciones a interpolar, posibilidad de implementar las discontinuidades en el terreno (e.g. líneas de rotura), tiempo de ejecución, complejidad en la ejecución e interpretación de los resultados, etc. (Slocum et al, 2005).

En este trabajo se compararán los modelos de interpolación evaluando la exactitud de los valores estimados, puesto que el objetivo final es la creación de mapas continuos a partir de observaciones puntuales y las limitaciones de capacidad de cálculo, tiempo de procesado, etc., no son relevantes. Para hacer esta validación existen dos posibilidades: validación cruzada (cross-validation) y validación simple o separación de datos (data splitting). La validación cruzada supone separar un valor de muestreo y hacer la interpolación con el resto de datos y calcular el residuo (diferencia entre el valor estimado y el real) para el punto previamente separado; esta operación se repite para cada valor del conjunto de puntos. En la validación simple se establecen dos conjuntos con los datos muestreados: uno para hacer el proceso de interpolación y otro para validar los resultados; los residuos se calculan para cada valor del conjunto de validación. En este trabajo se utilizará la validación cruzada puesto que el número de datos muestreados no es muy elevado y no sería conveniente separar datos para el modelo y evaluar resultados.

Para comparar los resultados de cada método de interpolación se calculará el error cuadrático medio (root-mean-square error –RMSE) para cada punto:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z(r_i) - \hat{z}(r_i)]^2}$$

Donde $\hat{z}(r_i)$ es el valor estimado para cada celda y $z(r_i)$ es el valor del punto muestreado en la posición r_i . Otro parámetro a considerar será el RMSE calculado para cada píxel después de la interpolación con kriging.

Procesado de los datos

El procesamiento de los datos de cada variable se ha hecho siguiendo los pasos recomendados en Gribov et al. (2004): representación cartográfica de los datos, estudio de la distribución de los datos, representación (para ver al autocorrelación espacial) y ajuste del semivariograma experimental, interpolación de datos y evaluación

de los mapas resultantes. El software utilizado fue: SPSS 15.0 (SPSS, Inc.) para la exploración de datos y la extensión Geostatistical Analyst de ArcGIS 9.2 (ESRI) para los ajustes del semivariograma e interpolación de los datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de los datos

Con los datos tomados en las 162 cepas, separados por bloques, se hizo un estudio estadístico exploratorio que permitió localizar los valores anómalos (outliers) y aplicar tests de normalidad (Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov). En la Tabla 2 se muestran los resultados del análisis exploratorio con los datos muestreados en cada bloque (en los cálculos de los estadísticos se han eliminado los outliers detectados).

Tabla 2. Caracterización de los valores muestreados (por bloques).

Parámetro / Variedad	Media	Desviación típica	Rango	Test Shapiro-Wilk		
				Estadístico	Grados libertad	Nivel crítico
Mencía						
GAP (%vol.)	12.8	1.31	5.87	0.962	45	0.145
pH	3.1	0.08	0.35	0.985	45	0.837
AT (g/L)	6.5	0.57	2.35	0.969	45	0.271
IPT	16.6	2.47	10.70	0.980	44	0.629
I	4.1	0.78	3.97	0.945	44	0.037
Cabernet Sauvignon						
GAP (%vol.)	13.0	0.49	2.20	0.967	47	0.202
pH	3.0	0.08	0.33	0.964	47	0.152
AT (g/L)	9.6	1.20	4.98	0.949	47	0.040
IPT	10.0	1.19	5.5	0.993	47	0.991
I	2.1	0.41	1.88	0.978	47	0.508
Merlot						
GAP (%vol.)	13.1	1.17	3.63	0.965	43	0.214
pH	3.1	0.09	0.32	0.963	43	0.173
AT (g/L)	8.5	1.13	3.28	0.929	43	0.011
IPT	12.9	2.68	9.2	0.964	43	0.201
I	13.1	1.76	6.89	0.758	11	0.003
Tempranillo						
GAP (%vol.)	13.7	0.65	2.87	0.984	27	0.942
pH	3.1	0.08	0.29	0.967	27	0.531
AT (g/L)	7.7	0.59	2.08	0.957	27	0.312
IPT	17.3	2.80	12.13	0.983	27	0.925
I	5.1	1.00	4.37	0.982	27	0.905

El Test Shapiro-Wilk se realizó al 95% y permitió detectar los parámetros que no se ajustan a la distribución normal: son aquellos cuyo nivel crítico es menor que el de significación (0.05 en este trabajo). Para aplicar el kriging los parámetros no normales exigen un tratamiento especial (en la mayoría de los casos se hizo una transformación logarítmica para normalizar la distribución: ver Tabla 3).

Se estudió la distribución de datos para cada parámetro y bloque, puesto que cada uno tendrá una distribución diferente. Como ejemplo del análisis se muestran los resultados obtenidos con la variable AT del cultivar

Cabernet Sauvignon. Representando el histograma de frecuencias se aprecia claramente que los datos no están normalmente distribuidos (Figura 2: izquierda). Mediante una triangulación de Voronoi puede visualizarse si los datos siguen alguna tendencia (Figura 2: derecha; los colores más oscuros indican valores elevados): los datos de la fila suroeste son notablemente superiores al resto. En este caso, antes de hacer el kriging se normalizaron los datos y se eliminó la tendencia.

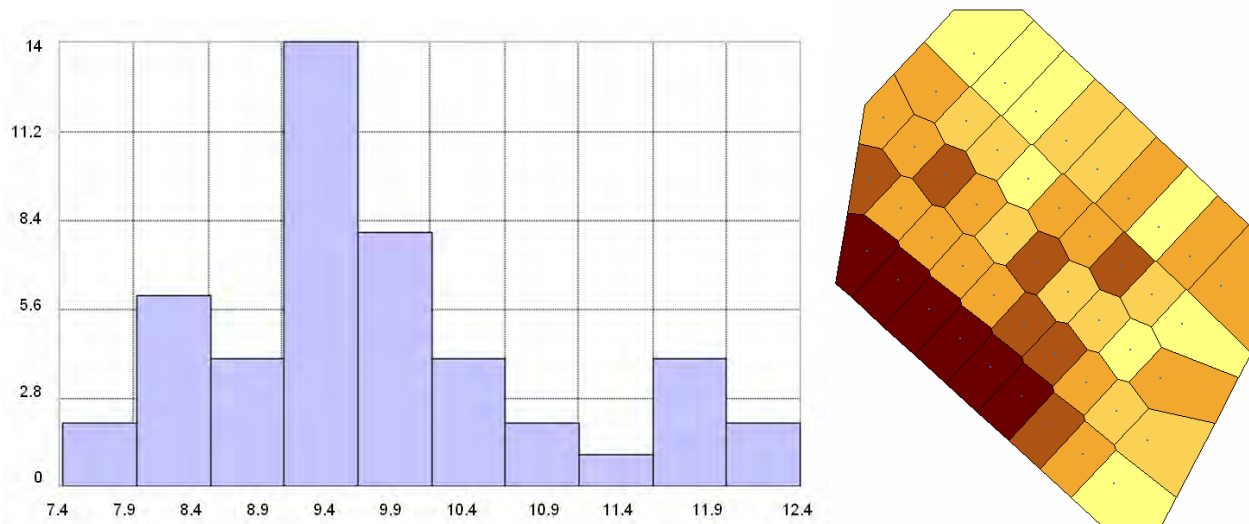


Figura 2. Distribución de la variable AT (Cabernet Sauvignon): histograma (izquierda) y triangulación de Voronoi (derecha)

Continuando con esta misma variable, la Figura 3 (izquierda) muestra mediante la semivarianza la diferencia entre los valores de GAP de todos los pares de puntos a diferentes distancias. En el semivariograma de la derecha (ajustado a una función esférica) puede verse como existe autocorrelación espacial hasta una distancia entre puntos de unos 100 metros, después se pierde y la diferencia entre valores del GAP no es función de la variación de distancias.

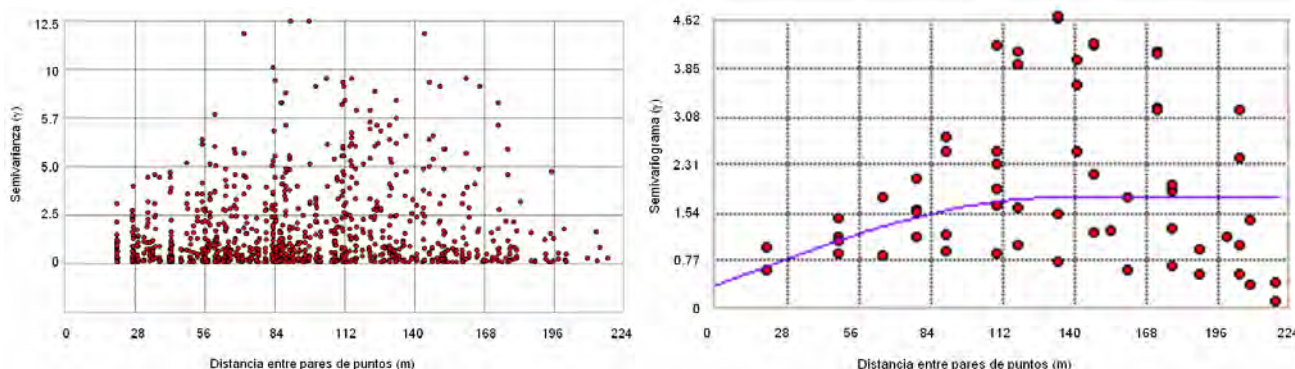


Figura 3. Variable AT (Cabernet Sauvignon): semivarianza (izquierda) y semivariograma (derecha) para pares de puntos a diferentes distancias

Por lo tanto la representación del semivariograma es fundamental para hacer el ajuste y también permite identificar si existe autocorrelación espacial entre los valores. En la Figura 4 puede verse que, en el cultivar de Cabernet, hay una clara autocorrelación de la variable AT (Figura 4: izquierda), mientras que para los valores de I apenas existe autocorrelación espacial (Figura 4: derecha).

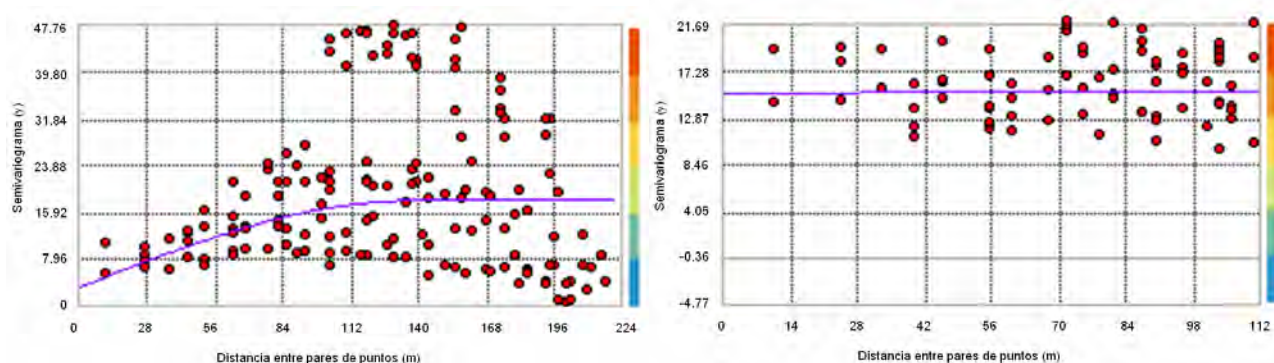


Figura 4. Cultivar Cabernet Sauvignon: semivariograma con autocorrelación espacial en la variable AT (izquierda) y semivariograma de I que evidencia la escasa autocorrelación (derecha)

Interpolación

Con la metodología expuesta se han calculado las interpolaciones y los RMSE para cada procedimiento de interpolación y parámetro.

Tabla 3. Valores de los RMSE obtenidos para los métodos de interpolación IDW y kriging (por bloques).

Variedad	Modelo IDW (potencia 2)			Modelo Kriging (Ordinario)		
	IDW	IDW* ⁽¹⁾	Forma ⁽²⁾	kriging	kriging* ⁽³⁾	Función
Mencía						
GAP (% vol.)	1.244	1.219	elipse	1.236	1.215	Gauss
pH	0.073	0.072	círculo	0.076	0.069	exponencial ⁽⁴⁾
AT (g/L)	0.529	0.497	círculo	0.492	0.484	esférico ⁽⁴⁾
IPT	2.411	2.320	elipse	2.318	2.250	esférico ⁽⁴⁾⁽⁵⁾
I	0.733	0.721	elipse	0.736	0.719	exponencial ⁽⁵⁾
Cabernet Sauvignon						
GAP (% vol.)	0.439	0.406	elipse	0.434	0.424	Gauss ⁽⁴⁾
pH	0.068	0.066	elipse	0.068	0.068	exponencial
AT (g/L)	0.835	0.786	elipse	0.789	0.774	esférico ⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾
IPT	1.100	1.083	elipse	1.102	1.079	esférico ⁽⁴⁾
I	0.448	0.427	elipse	0.425	0.403	exponencial
Merlot						
GAP (% vol.)	0.569	0.556	círculo	0.572	0.516	exponencial ⁽⁴⁾
pH	0.068	0.068	círculo	0.067	0.066	esférico
AT (g/L)	0.557	0.489	elipse	0.551	0.537	exponencial ⁽⁴⁾⁽⁵⁾
IPT	2.441	2.237	elipse	2.302	2.222	Gauss
I	0.953	0.818	elipse	0.927	0.875	esférico ⁽⁴⁾
Tempranillo						
GAP (% vol.)	0.860	0.846	círculo	0.844	0.833	esférico
pH	0.115	0.112	elipse	0.116	0.109	esférico ⁽⁴⁾
AT (g/L)	1.100	1.041	elipse	1.0320	1.015	exponencial ⁽⁴⁾⁽⁵⁾
IPT	2.274	2.180	círculo	2.281	2.217	Gauss ⁽⁴⁾
I	-	-	-	-	-	-

En la Tabla 3 se muestran los valores de RMSE obtenidos en las interpolaciones por IDW y kriging. Para el primer método se diferencian: (i) el modelo IDW que utiliza una distancia entre puntos igual a la mitad de la distancia entre los puntos más alejados y un número mínimo de 10 puntos; (ii) el modelo IDW* en el que se trata de optimizar la distancia entre puntos y el número mínimo de puntos utilizando: distancia entre puntos homogéneas (círculo) o variables (elipse). Para el kriging se diferencian: (i) kriging con ajuste del semivariograma a una función esférica y suponiendo que la media es uniforme en cada grupo de datos (kriging ordinario); (ii) kriging* con ajuste a otra función indicando el tipo de transformación aplicada, si se elimina tendencia, si existe anisotropía, etc. No se incluyen los resultados del parámetro I en Merlot porque no se contó con un número de datos suficiente (sólo se dieron por buenos los datos de 10 cepas). Por tanto la información de la Tabla 3 requiere algunas aclaraciones: IDW*(¹) indica modelo mejorado; Forma (²) especifica distancias entre puntos homogéneas (círculo) o variables (elipse); kriging*(³) denota interpolación con modelo kriging indicando si existía anisotropía (⁴), si se hizo normalización logarítmica (⁵) o se eliminó la tendencia (⁶) en la variación de los datos.

Como era previsible, el procedimiento del kriging permite obtener unos valores inferiores de RMSE: sólo se obtuvieron mejores resultados con el IDW para GAP y pH en Cabernet Sauvignon, para ITP en Tempranillo y para AT e I en Merlot. En todo caso los valores de RMSE son muy similares en ambos tipos de interpolación: las mayores discrepancias están en la variable ITP de Mencía y en GAT del Cabernet, con diferencias (a favor del kriging) de 0.07 y 0.04 respectivamente.

La variable AT sólo se ajustó a la distribución normal en el cultivar de Mencía. En la AT del Cabernet se hizo una transformación logarítmica obteniendo la nueva distribución un nivel crítico de 0.620 en el test Shapiro-Wilk: aplicando un kriging universal (considera que la media no es constante en todos los grupos de datos) se obtuvo un RMSE de 0.768 (eliminando previamente la tendencia). Esa misma variable también se normalizó para Merlot y Tempranillo y además se tuvo que considerar el efecto de anisotropía (diferente autocorrelación espacial según la dirección observada). La variable I del cultivar Mencía también requirió una normalización logarítmica (se consiguió un nivel crítico 0.307 en el test Shapiro-Wilk) y se eliminó un valor (outlier) para conseguir un mejor ajuste del semivariograma.

Los mapas finales interpolados con IDW y kriging tienen un aspecto diferente: por lo general el IDW da mapas continuos en los que la variación de valores es brusca especialmente cuando los valores de dos cepas contiguas son muy diferentes (Figuras 5 y 6: izquierda), mientras que el kriging hace que las variaciones de los valores sean más suaves (Figuras 5 y 6: derecha y centro). Con algunas variables, como AT en Cabernet, se probó la interpolación con kriging universal pero los resultados no mejoraron muy significativamente los obtenidos con el kriging ordinario (Figura 6: centro y derecha).

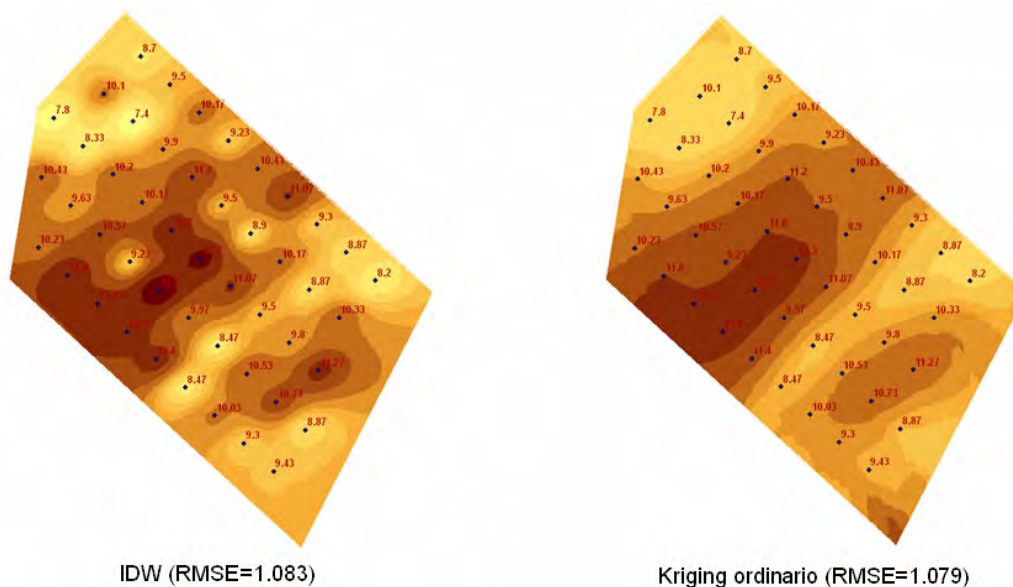


Figura 5. Interpolación de los valores de I (Cabernet Sauvignon): procedimientos IDW (izquierda) y kriging (derecha)

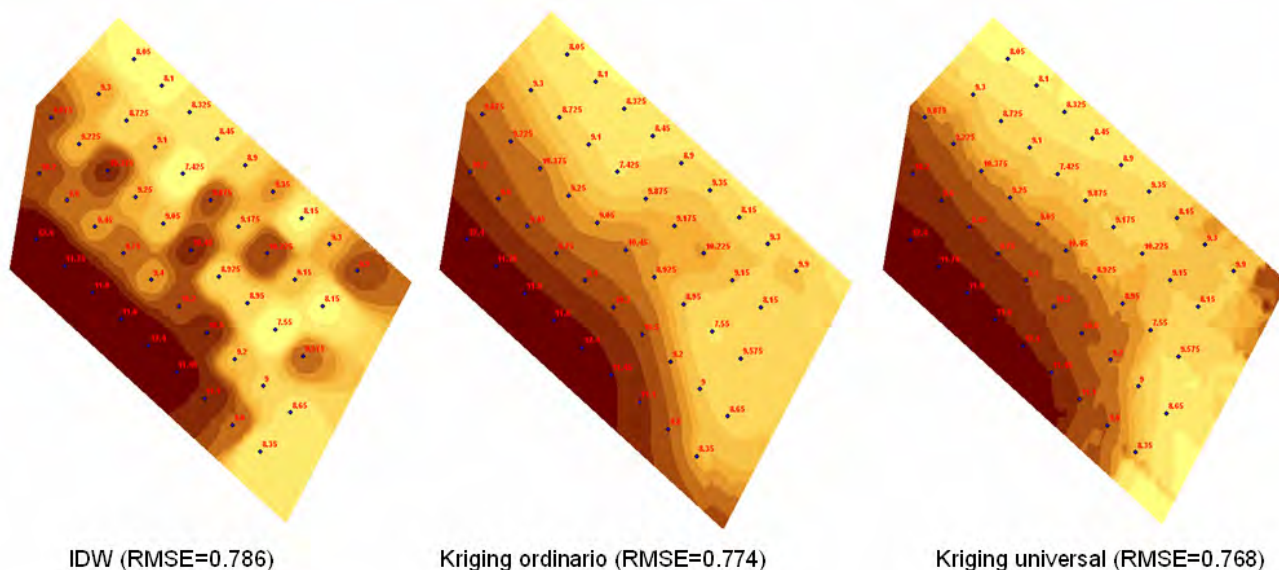


Figura 6. Interpolación de los valores de AT (Cabernet Sauvignon). Procedimientos: IDW (izquierda), kriging ordinario (centro) y kriging universal (derecha)

Una de las ventajas de la interpolación mediante kriging es que permite obtener un mapa con la distribución de los errores. En la Figura 7 se muestran los mapas de predicción de errores para la variable AT en el cultivar Cabernet. El mapa de la derecha muestra la distribución utilizando un ajuste esférico del semivariograma; en el centro se representa el resultado si se elimina la tendencia de los datos muestreados y se considera el efecto de anisotropía; y a la izquierda puede apreciarse como el kriging universal empeora el rango de errores estándar aunque disminuye el RMSE global (como ya se comentó).

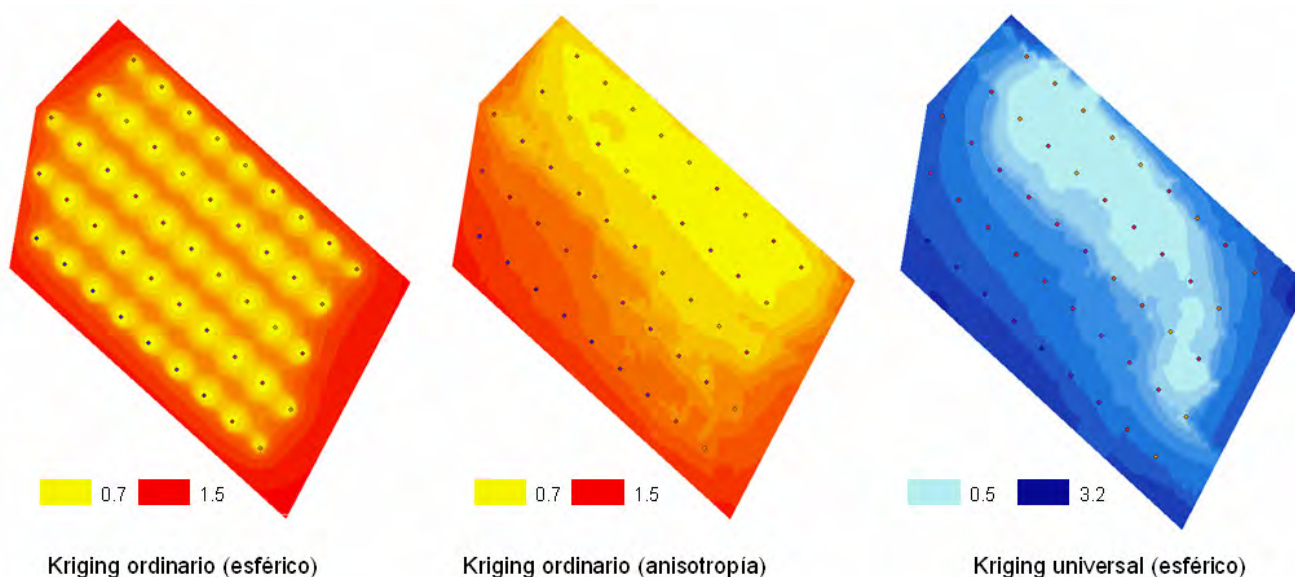


Figura 7. Mapa de predicción de errores estándar para el kriging de AT (Cabernet Sauvignon). Procedimientos: kriging ordinario (izquierda), kriging ordinario considerando anisotropía (centro) y kriging universal (derecha)

Finalmente se muestra un ejemplo en el que la interpolación IDW mejora los resultados del kriging (Figura 8), aunque en los mapas interpolados no se aprecian grandes diferencias

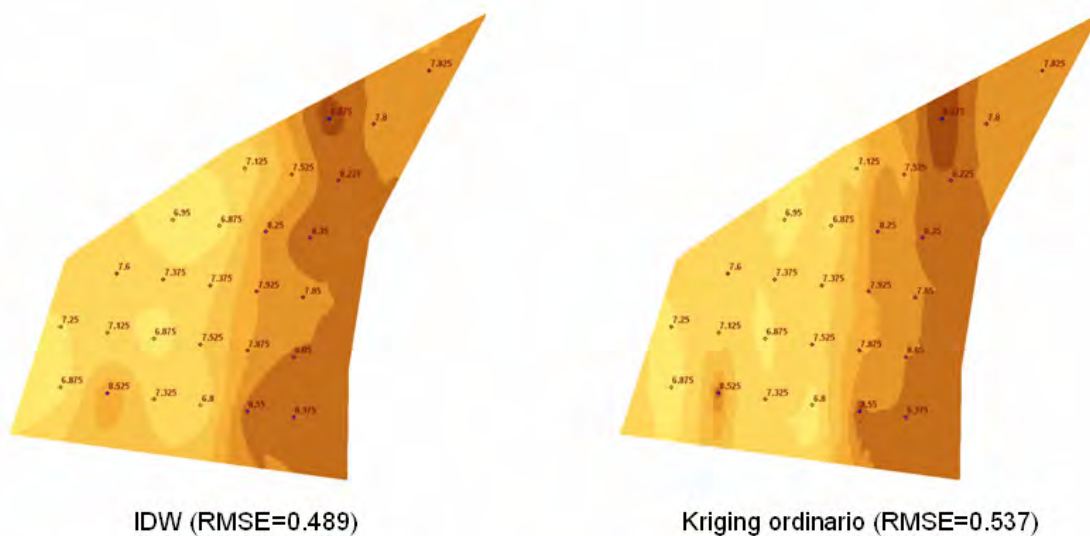


Figura 8. Interpolación de los valores de AT (Merlot). Procedimientos: IDW (izquierda) y kriging ordinario (derecha)

CONCLUSIONES

En la metodología propuesta, todos los pasos son importantes pero se ha demostrado que el estudio de la distribución de los datos condiciona los resultados finales y debe permitir verificar la distribución normal de los datos así como detectar tendencias en la variación de los datos o anisotropía. Por tanto el análisis exploratorio previo de los datos es indispensable para obtener buenos datos en las interpolaciones.

La mayor ventaja del método kriging respecto al IDW, no está en la disminución del error RMSE sino en que permite hacer una estimación de los residuos para cada punto interpolado. Así, el kriging permite dar un valor de interpolación para cada celda y el residuo asociado a la misma.

A la hora de hacer mapas de calidad del mosto a partir de observaciones puntuales es preciso diseñar un muestreo con un número suficiente de cepas que permita obtener una distribución normal de los datos. El mapa interpolado resultante debe mostrarse junto con los semivariogramas experimental y ajustado, RMSE y mapa de distribución de errores.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado dentro del marco del proyecto LE002B07, financiado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación para proyectos a realizar por grupos de investigación y grupos de investigación noveles, a iniciar en el año 2007 (ORDEN EDU/1188/2007, de 29 de junio de 2007), de la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arnó, J., Martínez-Casasnovas, J.A., Blanco, R., Bordes, X. y Esteve, J. (2005): Viticultura de precisión en Raimat (Lleida): experiencias durante el período 2002-2004. *ACE: Revista de enología*, 64 http://www.acenologia.com/ciencia73_01.htm

- Bramley, R.G.V. (2001): Progress in the development of precision viticulture - Variation in yield, quality and soil properties in contrasting Australian vineyards. En: Currie, L.D. and Loganathan, P. (Eds.), *Precision tools for improving land management, Occasional report*. Precision tools for improving land management. Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North (Australia), 14: 25-43.
- Bramley, R.G.V. (2005): Understanding variability in winegrape production systems 2. Within vineyard variation in quality over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11: 33-42.
- Bramley, R.G.V. y Williams, S.K. (2001): *A protocol for the construction of yield maps from data collected using commercial available yield monitors*. Cooperative Centre for Viticulture and CSIRO Land and Water, Adelaida, (Australia), 22 pp.
http://www.cse.csiro.au/client_serv/resources/CRCVYield_Mapping_Protocol.pdf
- De Andres-de Prado, R., Yuste-Rojas, M., Sort, X., Andres-Lacueva, C., Torres, M. y Lamuela-Raventos, R.M. (2007): Effect of soil type on wines produced from *Vitis vinifera* L. cv. Grenache in commercial vineyards. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 55 (3): 779-86.
- Esser, A. y Ortega, R. (2002): Aplicaciones de la viticultura de precisión en Chile: estudio de casos. *Agronomía y Forestal UC*, 17: 17-21.
- Esser, A., Ortega, R. y Santibáñez, O. (2002): *Viticultura de precisión: nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia productiva en viñas*. *Agronomía y Forestal UC*, 15: 4-9.
- Felicísimo Pérez, A. M. (1994): *Modelos digitales del terreno: principios y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Pentalfa Ediciones, Oviedo, 118 pp. <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/pdf/libromdt.pdf>
- Flores, L.A. (2005): Variabilidad espacial del rendimiento de uva y calidad del mosto en cuarteles de vid cv. Cabernet Sauvignon y Chardonnay en respuesta a la variabilidad de algunas propiedades del suelo. *Agricultura Técnica*, 62 (2): 210-220.
- Gribov, A., Krivoruchko, K. y Ver Hoef, J.M. (2004): Modeling the semivariogram: new approach, methods comparison and case study. En: Coburn, T.C. (Ed.), *Stochastic Modeling II, American Association of Petroleum Geologists Computer Applications in Geology*. Tulsa, OK (EEUU), pp. 1-30.
<http://downloads2.esri.com/campus/uploads/library/pdfs/30583.pdf>
- Isaaks, E.H., y Srivastava, R.M. (1989): *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York (EEUU), 567 pp.
- Mitas, L. y Mitasova, H. (1999): Spatial Interpolation. En: P. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire y D.W. Rhind (Ed.), *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. GeoInformation International, Wiley, New York (EEUU), pp 481-492.
<http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/papers/hgint39.pdf>
- Schabenberger, O. y Gotway, C.A. (2005): *Statistical methods for spatial data analysis*. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL (EEUU), 448 pp.
- Slocum, T.A., McMaster, R.B., Kessler, F.C. y Howard, H.H. (2005): *Thematic Cartography and Geographic Visualization*. Prentice Hall, 2nd Edition, Upper Saddle River, NJ (EEUU), 518 pp.

LA CARACTERIZACION DE UN ESPACIO TURISTICO A TRAVES DE UN SIG

Sobral García, Silvia

Departamento de Geografía. Universidad Las Palmas Gran Canaria. ssobral@dgeo.ulpgc.es

RESUMEN

Esta ponencia plantea el análisis, diagnóstico y propuestas, a través de un SIG, del espacio turístico de San Agustín, localizado en el sur de la isla de Gran Canaria y afectado por un proceso de deterioro urbano-ambiental. El desarrollo del trabajo se ha centrado, desde un punto de vista metodológico, en detectar los problemas relacionados con la información gráfica para su explotación en el SIG. A nivel analítico en caracterizar la problemática de este espacio mediante la explotación conjunta de componentes de diferentes capas. Y en lo relativo a la intervención en generar nueva información geográfica para la elaboración de propuestas.

Palabras Clave: SIG, diagnostico urbano-ambiental, Planificación turística

ABSTRACT

This communication deals with the analysis, diagnosis and proposals, using a GIS, of the tourist space of San Agustín, located in the south of the island of Gran Canaria, and undergoing a process of urban-environmental deterioration. The development of the work has focused, from a methodological point of view, on detecting the problems related to the graphical information when operating in the GIS. At the analytical level, it aims at characterizing the problems found in this area by means of the joint operation of components in different layers. And with regards to interventions, it is aimed at generating new geographic information for new proposals.

Key words: GIS, urban-environmental diagnosis, tourist planning

INTRODUCCIÓN

La actividad turística, ligada a un recurso natural o atractivo turístico, constituye una forma de ocupación del territorio muy intensa ya que al ser espacios artificiales construidos, con gran profusión de elementos edificados e infraestructurales, presentan una gran densidad de uso, acompañado de una transformación rápida y estandarizada del espacio y de una modificación de la naturaleza sobre la que se ubica.

En este tipo de espacios turísticos, a medida que se va colonizando el lugar, los elementos construidos adquieren mayor importancia y se desligan de los recursos naturales, dando lugar al llamado “turismo de implosión” es decir un proceso que primero coloniza y luego transforma el espacio para convertirse en lugares diferentes a su origen de implantación (Cáceres Morales 2001). Ello ocurre sobre todo en las formaciones turísticas ligadas a un recurso de sol y playa, en donde a medida que el tejido residencial se va densificando, se va perdiendo la relación respetuosa con el medio natural, dando lugar a espacios de consumo repetitivos y estandarizados.

El espacio turístico del sur de la isla de Gran Canaria se podría encuadrar dentro del modelo descrito anteriormente, ya que ya que se trata de una actividad ex novo que surge en los años sesenta ligada a un recurso de sol y playa, coloniza el territorio y evoluciona rápidamente hacia un turismo de masas con un consumo especulativo y denso de suelo, donde el paisaje natural se ha ido diluyendo ante el protagonismo del espacio construido.

Sin embargo, a principio de los noventa, se produce una paralización en el ritmo de ocupación y edificación debido al descenso de la demanda turística provocada por la guerra del Golfo y las repercusiones que tuvo en cuanto a la movilidad turística y el gasto. Con ello se inician las primeras señales de alarma frente a la masificación y obsolescencia del espacio urbanizado y el consumo indiscriminado de suelo, que coincide con un momento en que a nivel internacional el modelo clásico y masificado de turismo de sol y playa muestra síntomas claros de crisis, haciéndose necesario un cambio de maniobra turística.

Esta nueva estrategia se basa en reconducir la oferta hacia un turismo de mayor calidad, introduciendo un carácter menos denso en lo relativo a la edificación, mejores dotaciones de espacios libre y equipamientos de ocio, e integración respetuosa en el medio natural. Estos parámetros son los que marcaran las pautas del modelo turístico propuesto por los Planes Insulares de Ordenación de 1995 y 2003 para hacer frente a la urbanización masiva de sol y playa, afectada de problemas estructurales y obsolescencia de las instalaciones, e incorporar nuevos recursos turísticos de calidad.

ZONA DE ESTUDIO

Dentro del espacio turístico insular, el caso de San Agustín constituye un ejemplo claro de la trayectoria seguida por este fenómeno, que surge en la década de los sesenta con una serie de promociones de baja densidad, junto a un sector de hoteles, promocionados por sociedades escandinavas y destinadas a un turismo de calidad.

En los años setenta y ochenta se inicia la extensión superficial del proceso turístico con la colonización de nuevos espacios y la densificación del tejido construido. Con ello se consolida prácticamente toda la zona con la penetración de la urbanización hacia el interior y la incorporación de nuevos servicios recreativos y de ocio, pero se pierde en parte el carácter extensivo de baja densidad que tuvo la urbanización turística en su primera fase.

A principio de los noventa, el proceso se estanca debido al declive del modelo turístico de masas y al cambio de estrategia turística que apuesta por la incorporación de nuevas zonas con mayores recursos turísticos.

En la actualidad, el sector de San Agustín con un área urbanizada superior a las 100 Has, presenta una oferta alojativa muy diversificada constituida por unidades hoteleras y sobre todo extrahoteleras muy atomizadas, con predominio de densidades bajas, pero afectado, como gran parte del litoral insular por un proceso de deterioro constructivo y medioambiental debido a un tejido residencial degradado, a la precariedad de las infraestructuras turísticas, al escaso cuidado de zonas verdes comunes y al descuido del paisaje natural¹.

METODOLOGIA

Para acometer el estudio de este espacio turístico y reconocer los procesos territoriales implícitos en el mismo, hemos centrado el trabajo en los siguientes aspectos:

1º. La caracterización del espacio urbanizado analizando cada una de las promociones turísticas desde el punto de vista territorial/urbanístico/edificatorio para entender las claves de ocupación de este sector.

2º La detección de los principales problemas que afectan a la zona en materia de deficiencias ambientales como elementos construidos.

3º- Las propuestas de mejora urbana y revitalización ambiental del área, incidiendo en la recuperación paisajística y en la reutilización de vacíos urbanos o degradados.

¹ Hace unos días precisamente el Consejo de Gobierno Insular aprobó un Convenio para la rehabilitación de las zonas turísticas de San Agustín, Playa del Inglés y Maspalomas” que ya se recogía en la Ley de Directrices de Ordenación del Turismo de 2003 lo que supone un retraso de 5 años en su puesta en practica

Como herramienta de trabajo para manejar la información territorial, organizar los datos en estratos diferenciados, realizar las operaciones pertinentes y plasmar los resultados cartográficos, hemos utilizado un Sistema de Información Geográfica (S.I.G.)

La información grafica de base

Para la información grafica de base se utilizó la cartografía digital a escala 1:5000 de GRAFCAN, Cartográfica de Canarias S.A, empresa publica del Gobierno de Canarias adscrita a la Consejería de Política Territorial y Medio Ambiente.

Esta cartografía, si bien como dibujo grafico de base es valido ya que los datos territoriales aparecen de forma muy completa, sin embargo para su explotación en un SIG presenta algunos problemas ya que tal como ha sido concebida no se puede utilizar en su totalidad para su aplicación en este tipo de sistemas.

1º Porque la información no se ha organizado en capas totalmente independientes, sino que en algunos casos unas capas se cierran con otras con lo que los componentes pertenecientes a cada una de ellas no constituyen elementos autónomos, no pudiéndose volcar en ellos la información alfanumérica pertinente.

2º Porque el contenido temático de algunas capas es algo confuso al mezclarse dentro de un mismo sustrato datos territoriales pertenecientes a categorías geográficas diferentes, o elementos no identificables que contribuyen a confundir y contaminar el contenido de la información final.

3º Porque algunos elementos geográficos no se han dibujado de forma continua, sino cortando su trazado sin ningún tipo de criterio geográfico, con lo cual a la hora de trabajar con ellos no constituyen unidades definidas dentro de una categoría sino fragmentos independientes

Todo ello supone que a la hora de utilizar la cartografía digitalizada para su explotación en un S.I.G requiere una serie de pasos previos como depurar y clarificar los datos, eliminar los que no sirven, cerrar las capas abiertas, unir elementos y digitalizar otros. En definitiva organizar la información para convertirla en elementos gráficos precisos a los que se pueda agregar datos alfanuméricos para poder trabajar de forma conjunta.

Las capas que se importaron directamente desde la cartografía digital al SIG fueron las siguientes:

- La base física conformada por las curvas de nivel, red hidrográfica y costa.
- Las infraestructuras viarias constituidas por carreteras, caminos y calles
- Las edificaciones compuestas por todas las construcciones
- La vegetación que incluye tanto especies naturales como elementos de jardinería.

- En cuanto a los elementos altimétricos, el principal problema detectado con esta capa es que su trazado no es continuo ya que las líneas aparecen cortadas por tramos de tamaños diferentes, lo que dificulta su utilización directa para calcular determinados índices y medidas. Asimismo se han detectado en algunos casos, curvas delineadas de forma muy rectilínea, sin la sinuosidad característica de este tipo de elementos, y otros, en que las líneas se pierden o desaparecen, lo que dificulta el análisis conjunto del relieve.

- En lo que respecta a la red hidrográfica, representada digitalmente por medio de una línea discontinua, utiliza como recurso gráfico formas complejas que proporcionan la longitud del elemento. Sin embargo, se han detectado barrancos dibujados como líneas poligonales con solo vértices. Por ello el inconveniente de trabajar con esta información es que aparte de que las líneas no siempre tienen su extensión, tampoco aparecen trazadas como elementos continuos, sino con tramos de diferentes tamaños, lo cual obstaculiza la elaboración de mapas que utilicen como base la red hidrográfica².

² A este respecto, tal como puede observar se en el mapa 5, la creación de buffers alrededor de los barrancos para la elaboración de propuestas ha dado lugar un resultado grafico desigual debido precisamente a la irregularidad tanto en el trazado como en el recorrido de los barrancos.

- En relación a las carreteras se han dibujado por tramos, utilizando como recurso grafico la forma poligonal compleja. Sin embargo, la delimitación por recorridos no parece responder a un criterio reconocible, ya que los hay de diferentes tamaños, lo cual resulta complicado a la hora de adjudicar datos y comparar resultados. Asimismo, la unión o conexión entre recorridos continuos esta poco depurada, lo mismo que cuando se origina el encuentro con rotondas, isletas, etc, ya que se producen líneas que se duplican o superponen. Por ello una vez dentro del SIG los diferentes tramos se ensamblaron mediante una unión geográfica quedando cada uno de los niveles convertidos en elementos individualizados.
- Las calles, integradas dentro de una capa que engloba asimismo una delimitación de espacio urbanizado se han trazado de una manera inconexa e incompleta, utilizándose incluso dos tipos de grafismos para el mismo elemento: líneas poligonales abiertas, conformadas por trazos sueltos sin ningún tipo de continuidad y difícilmente reconocibles, y formas poligonales complejas es decir tramos cerrados, conformadas por recorridos de diferentes tamaños y dibujados con líneas continuas o discontinuas indistintamente. En este caso al ser elementos sin una continuidad espacial y estar trazados de manera inconexa, se volvieron a digitalizar.
- En lo concerniente a la capa edificación representada como formas poligonales cerradas incluye, aparte de las construcciones, elementos de naturaleza variable como invernaderos e instalaciones deportivas que deberían por su condición incluirse en otro nivel, ya que su inclusión en esta capa, contribuyen a confundir la información. Por ello esta capa se depuro y se subdividió a su vez en dos niveles: las edificaciones propiamente dichas y las piscinas y canchas deportivas que se volcaron en la capa instalaciones.
- La vegetación, incluida dentro de un nivel junto con bancales, escombreras y líneas de parcelas, se individualizó de los otros elementos y se reconvirtió en una capa independiente.
- Finalmente para la delimitación de las diferentes urbanizaciones se creo una capa nueva mediante la digitalización del perímetro de cada una de ellas.

La base de datos alfanumérica

Para enriquecer la información espacial y caracterizar alguno de los procesos e interrelaciones que afectan a este espacio turístico elegimos dos niveles de análisis. Para el primero de ellos, relativo a la capa urbanización, introdujimos variables territoriales, urbanísticas y cuantitativas. Y para el segundo, referido a la capa edificación, manejamos variables tipológicas. Como fuentes de información utilizamos fotografía aérea de diferentes periodos, expedientes de urbanización, estadísticas turísticas, análisis cartográfico y trabajo de campo.

A) Variables de tipo territorial:

- Localización
- Grado de pendiente

B) Variables de tipo urbanístico:

- Año de construcción
- Morfología de la trama viaria
- Tipología

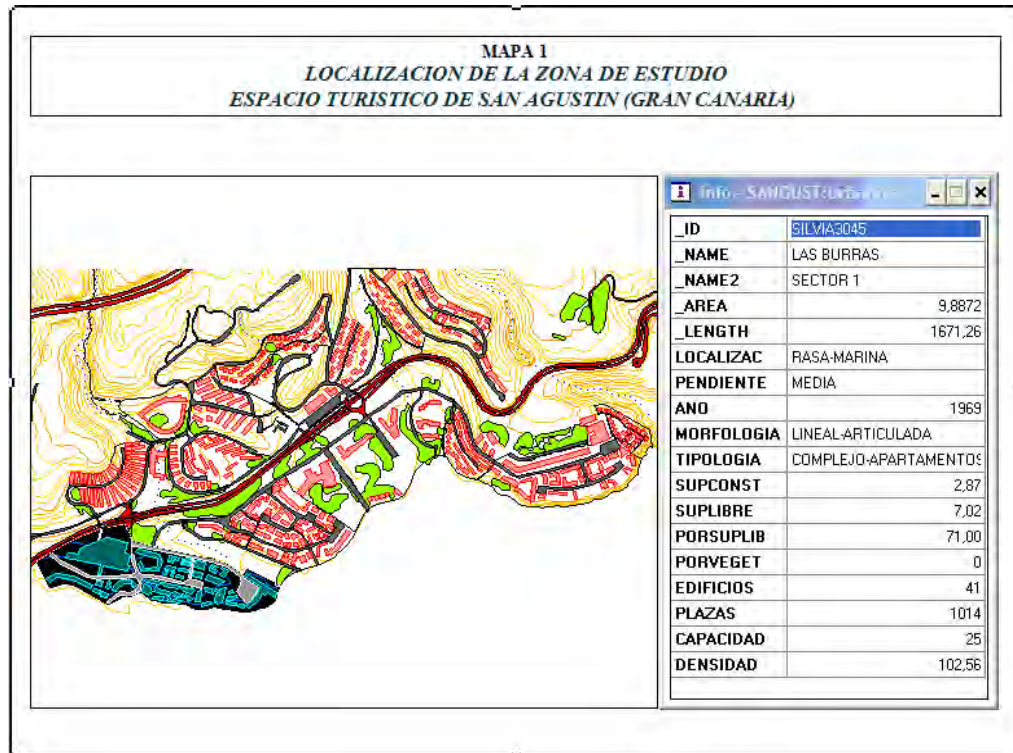
C) Variables de tipo cuantitativo

- Superficie construida
- Superficie libre
- Porcentaje superficie libre
- Porcentaje vegetación
- N° de edificios
- N° de plazas turísticas

- Capacidad (nº de plazas por edificio)
- Densidad (nº de plazas por Ha)

D) Variables tipológicas

- Tipo edificatorio
- Numero de plantas
- Estado de la edificación

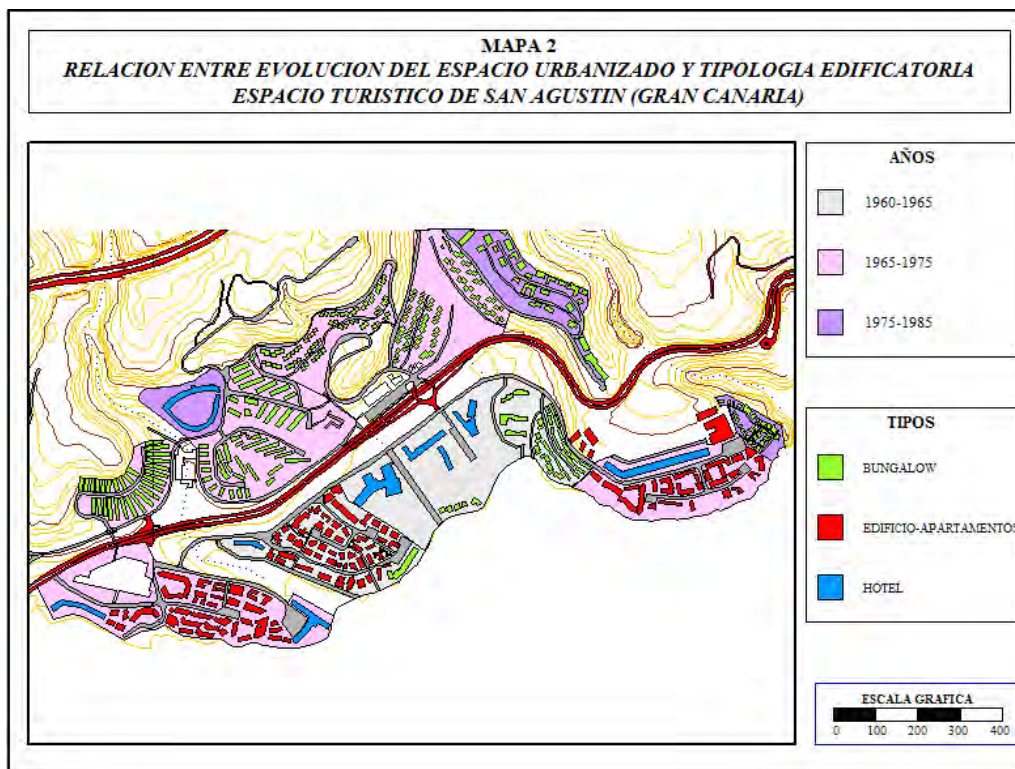


RESULTADOS

Una vez organizadas las base de datos e introducidos los mismos en los campos pertinentes, se procedió a la explotación de la información a través del SIG y a la representación grafica de los resultados. En cuanto al tratamiento analítico y dado que no podíamos incorporar cada una de las variables estudiadas por cuestión de espacio, optamos por la explotación conjunta de elementos de diferentes capas para obtener un análisis más integrado y enriquecedor en sus conclusiones. En lo referente a las propuestas utilizamos las operaciones geográficas disponibles en el SIG para generar nuevos componentes sobre elementos existentes, obtenidos a partir buffers o de digitalización, incorporándolos a la base grafica para su representación.

Evolución y caracterización del espacio urbanizado

Para analizar esta temática y establecer la relación entre el momento que se urbaniza este espacio con la forma en que se construye, utilizamos las variables año y tipología edificatoria.



La topografía de la zona, caracterizada por un sector de costa dominado por una playa central y una franja interior de mayor pendiente atravesada por barrancos e interfluvios alomados, condicionó la ocupación del espacio urbanizado que se produce inicialmente alrededor de la playa como factor de atracción, expandiéndose posteriormente hacia los extremos de la costa y zona interior aprovechando las vertientes de los barrancos, las lomas y los acantilados como miradores naturales para el disfrute de las vistas.

El conjunto, que se va conformando a partir de actuaciones independientes de diferentes tamaños, se articula a través de un eje de comunicación paralelo a la costa que funciona como elemento de relación entre las distintas urbanizaciones, que se formalizan con tramas lineales en las actuaciones de baja pendiente y con formas orgánicas en las promociones localizadas sobre relieve más acentuados, conformando un continuo que, aunque no se resuelve a priori como un conjunto urbano, esta conectado entre si.

En lo que se refiere a la construcción de este espacio que se va consolidando de forma paulatina a medida que se urbaniza, también parece existir una correspondencia entre la localización y el tipo edificatorio pudiéndose diferenciar edificios de apartamentos que se ubican mayormente en la zona de playa, complejos aislados situados en la zona alta y conjuntos hoteleros que se reparten por todo el sector

- Los complejos de apartamentos, aparecen constituidos por diferentes edificios con instalaciones comunes que se insertan dentro de parcelas formando un espacio de naturaleza más urbana. Como características comunes destacan: la escasez de espacios libres y de vegetación, ya que parece que la cercanía de la playa como factor de localización ha propiciado el mayor aprovechamiento del espacio construido; la falta de homogeneidad del conjunto edificado y la poca integración de las distintas promociones con el espacio circundante.

- Los complejos aislados, están conformados por bungalow que se localizan en el espacio de forma abierta o escalonada, separados entre por zonas verdes y ajardinadas, dando lugar a conjuntos que aunque desde el punto de vista tipológico son más homogéneos que en caso anterior, al ser todas las construcciones iguales, tienen mayor calidad turística ya que presentan una estructura mejor resuelta por la orientación y adecuación topográfica de la edificación, por su integración con el paisaje y por la mayor cantidad de espacio libre. Este tipo de promociones se localizan en la zona alta donde el alejamiento de la playa se ha suplido con las vistas y el disfrute del paisaje

- Finalmente los complejos hoteleros que se localizan inicialmente en el sector de playa y más tarde se expanden hacia la zona alta, aparecen constituidos por grandes edificios rodeados de jardines e instalaciones deportivas.

La densidad del espacio turístico

Para evaluar este parámetro pusimos en relación el número de plazas de cada urbanización con la altura de la edificación, y el análisis nos reveló algunas cuestiones importantes ya percibidas.

La capacidad alojativa de este sector turístico oscila actualmente en torno a las 8.500 plazas aunque esta cifra es difícil de calcular con total fiabilidad puesto que el número final varía en función de si se trata de camas habituales o extras en cuyo caso el volumen se puede ampliar considerablemente³.

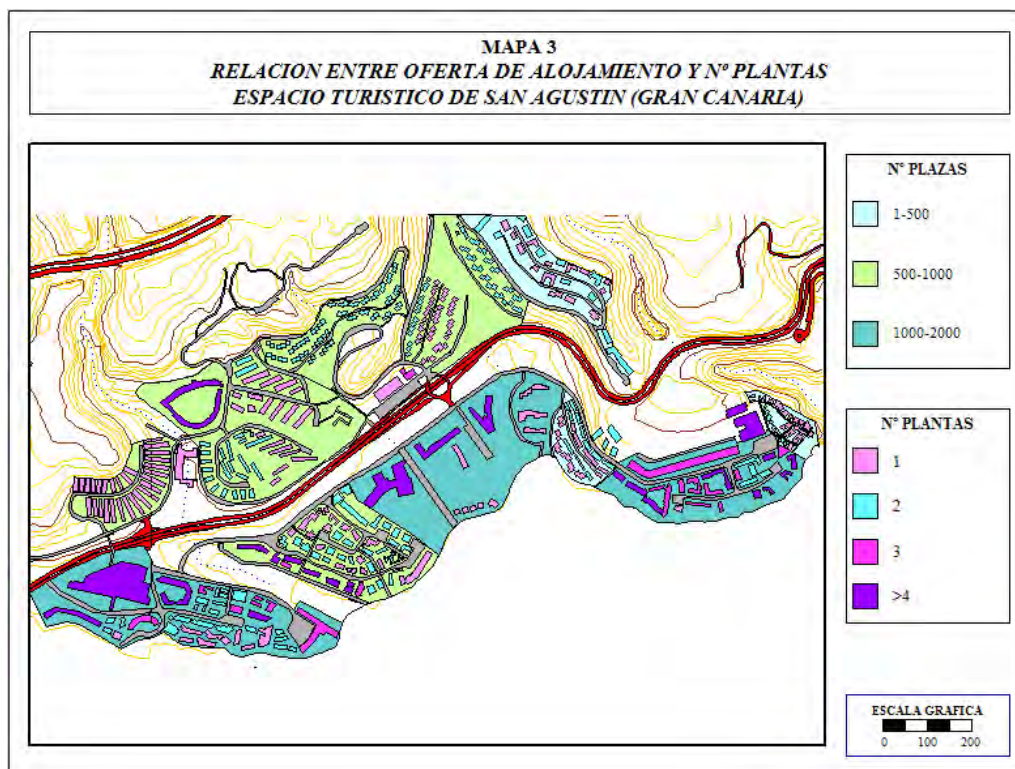
En cuanto a su localización, se distribuye de forma desigual entre la zona baja que absorbe el 70% del total y la zona alta que acoge el restante 30% respondiendo esta diferencia al volumen y tipología de la edificación, ya que el sector de playa concentra el mayor número de hoteles y apartamentos de más de 3 plantas mientras que en la zona alta la tipología dominante es el bungalow de 1 y dos plantas.

Desglosando el número de plazas por tipo tenemos que los 8 hoteles y apartoteles de la zona concentran el 60% de las plazas (en torno 5000) quedando el 40% sobrante repartido entre una gran cantidad de complejos diferentes que se dispersan en 340 edificios, lo que supone que si bien una parte de la oferta es empresarial, existe también un número importante de plazas que son privadas y en menor medida residenciales, ya que no hay que olvidar que San Agustín fue desde sus inicios zona de veraneo para conocidas familias canarias que invirtieron en la construcción de estos pequeños complejos de apartamentos, más para disfrute familiar que como negocio. Se trata por tanto de un espacio turístico que al apostar por la baja densidad presenta una fuerte atomización de plazas que se distribuyen entre pequeños edificios, muchos de los cuales tienen una capacidad muy reducida, existiendo en algunos casos casi la misma densidad edificada que nº de plazas.

Ello significa que el papel turístico de San Agustín está algo difuminado ya que a nivel espacial hay un predominio de complejos de apartamentos y bungalow en propiedad, y en menor medida para la explotación, lo que supone que también a la hora de la reconversión edificatoria al no estar esta tan enfocada al negocio, es más difícil la rehabilitación de estas urbanizaciones subdivididas en varios edificios pertenecientes cada uno a diferentes propietarios.

³ Según los datos estadísticos del Ayuntamiento de San Bartolomé en el año 2000 existían 6 hoteles que absorbían un total de 3894 camas habituales y 1 aparthotel con 158 plazas, que se duplicaban si se tenían en cuenta las camas extras. En cuanto a la oferta extrahotelera en ese mismo año ascendía a 3351 camas. Ver Hernández Luis, J.A y Parreño, Castellano, J.M. Tomo I. pp 108 y 113.

Actualmente se ha incrementado la oferta de aparthoteles que asciende a 3 con lo que el número de plazas de hoteles y aparthoteles, obtenidos mediante trabajo de campo, asciende a 5.095 plazas habituales (que se pueden incrementar con las camas extras). Con respecto a la oferta extrahotelera se ha mantenido prácticamente igual en torno a las 3.300 ya que si bien se han detectado establecimientos cerrados otros se han incorporado durante estos años tras un proceso de rehabilitación.



La calidad del espacio turístico

Para evaluar este parámetro tomamos como referencia el estado de conservación de las edificaciones, los servicios e instalaciones con los que cuenta la zona y la localización y cuantificación de las zonas verdes.

De forma general los complejos hoteleros y los complejos aislados de bungalow son los que presentan un estado en general satisfactorio. En el caso de hoteles, sobre todo los de 4 y 5 estrellas, muestran instalaciones cuidadas sobre todo en lo que se refiere a jardines y espacios libres, y aunque no pueden competir con los nuevos complejos hoteleros situados en la zona de Meloneras, satisfacen una demanda tanto extranjera como local que busca recintos más pequeños y de mayor familiaridad.

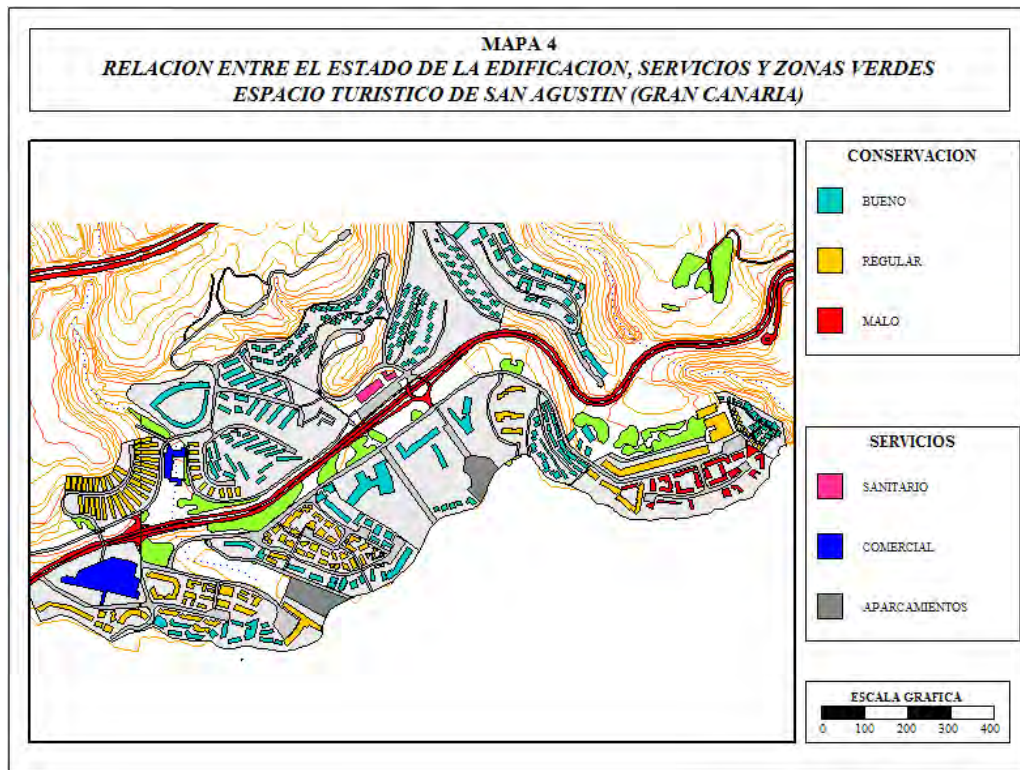
Las urbanizaciones en laderas, promocionados en su momento por sociedades escandinavas, fueron construidos de acuerdo al proyecto ganador del concurso internacional Maspalomas-Costa Canaria de 1962, que planteaba actuaciones a modo de pequeños núcleos, tipo bungalows, rodeados de vegetación y separados entre sí por zonas verdes. En este caso el paso del tiempo no ha sido un factor en contra ya que la mayor parte de las construcciones muy bien resueltas en cuanto a estructura y materiales se han mantenido en buenas condiciones.

No ocurre lo mismo con los complejos de apartamentos en donde debido precisamente a la diversidad de edificios y propietarios es donde se aprecia una mayor irregularidad en el tratamiento y conservación de los mismos, encontrándose alguno de ellos en estado de ruina o abandono, sobre todo en la zona acantilada de Morro Besudo, de mayor incidencia hay de edificaciones en mal estado y donde se registra un elevado uso residencial permanente⁴.

Entre los servicios y equipamientos con los que cuenta la zona se encuentra la clínica Roca, el único centro especializado de todo el sur que atiende a las necesidades sanitarias de la población turística. Un centro comercial que se construyó en los años ochenta y que actualmente se encuentra en un estado crítico con algunos de sus locales cerrados y el resto con un tipo de oferta banal y poco refinada, reflejo de la pérdida de liderazgo de esta zona en relación con otras más recientes, Y una serie de pequeños establecimientos localizados en el

⁴ El número de residentes fijos que vive en la zona de San Agustín alcanza los 2.000 habitantes, según datos proporcionados por el servicio de estadística del Ayuntamiento de San Bartolomé de Tirajana

interior de las urbanizaciones como supermercados, restaurantes, que cumplen un papel de servicios locales para abastecer a los visitantes.



Además de ello habría que destacar por el impacto que producen dos zonas de aparcamientos que se sitúan a ambos lados del paseo dando frente a la playa. En el primer caso se trata de un solar de tierra, donde se localizaba un antiguo centro comercial, hoy en estado de ruina, que se utiliza como espacio residual de uso incontrolado donde se amontonan los coches, en lo que corresponde a uno de los accesos a la playa. En el otro caso se trata de un aparcamiento asfaltado que ocupa el fondo del barranco justo donde el paseo se cruza con el barranco.

A este respecto habría que añadir además que el cauce de los barrancos que cruzan la playa, actualmente canalizados en su tramo final, se encuentran cubiertos por construcciones, infraestructuras hidráulicas, elementos endebles, instalaciones deportivas, terrazas comerciales, etc que aparte de constituir una apropiación indebida del espacio público y suponer un peligro en caso de lluvias fuertes, tal como ha ocurrido ya, afean desnaturalizan el papel paisajístico de los barrancos en encuentro con la playa que deberían funcionar como corredores verdes.

En cuanto a la relación espacio libre edificado, aunque hay un predominio de la baja densidad, la masa edificada sobresale frente a las zonas verdes que se ciñen a los hoteles, que destacan por el cuidado y dimensión de sus jardines, así como en las urbanizaciones de la zona alta donde los espacios libres verdes tienen mayor presencia que en los complejos de apartamentos donde ha existido mayor peso especulativo en detrimento de las zonas ajardinadas.

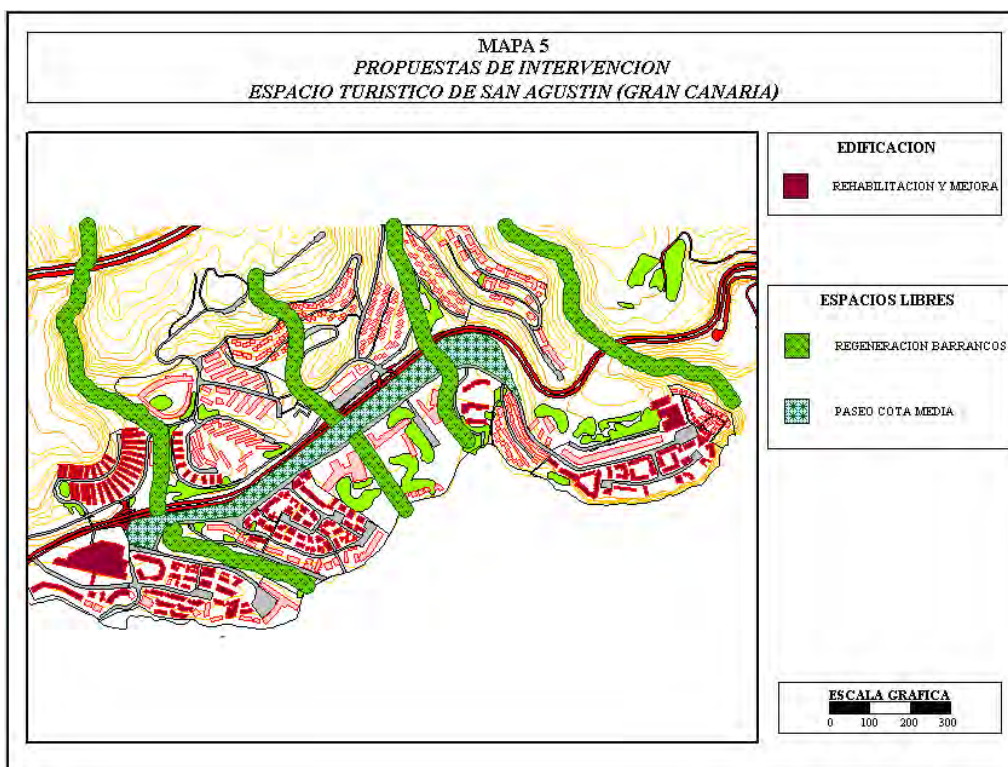
Fuera de las urbanizaciones se observan algunos restos de vegetación natural en torno a los barrancos entremezclados con los jardines, y alrededor de la carretera donde actualmente se está realizando un proyecto de jardinería para dar un tratamiento integrado a este sector. Situación muy diferente es la que presentan algunas calles interiores que se encuentran afectadas de problemas en lo referente al estado del firme, carencia de aceras y falta de iluminación, lo que contribuye a empeorar la calidad del espacio libre urbanizado.

Aparte del espacio urbanizado la situación de la playa ha ido empeorando en estos últimos años no solo por la pérdida de arena y aparición de piedras sino por el lamentable estado en que se encuentran el mobiliario de playa las hamacas y sombrillas cuyo recinto se rodea de una red plástica para protegerse del viento creando un efecto de suciedad y descuido.

Las propuestas

Una vez analizada la calidad de este sector turístico somos conscientes de que este espacio ha derivado hacia una situación de obsolescencia ante los nuevos cambios del mercado internacional que obligan a reformular la estructura urbanística de estas áreas. Pero esta reformulación debe centrarse, no tanto en la incorporación de nuevos elementos, como en la mejora del medio construido para cohesionar y relacionar todo el conjunto. Asimismo y tal como apunta el Avance del Plan Territorial Especial de Ordenación Turística la orientación de aquellas urbanizaciones con mayor incidencia de uso residencial, deberían centrarse en el mantenimiento de ese papel para abastecer una demanda de población que trabaja y vive en la zona, así como de turismo de la tercera edad que desea pasar temporadas en la isla.

Ahora bien, de manera conjunta a la rehabilitación de las edificaciones que se hallan en mal estado, debería acometerse un tratamiento sistemático de recuperación de elementos naturales que se encuentran desvirtuados y alterados por el peso especulativo del proceso urbanizador y una reordenación de los espacios libres. Se trataría por tanto de articular la propuesta entre dos sistemas complementarios, por un lado en las áreas construidas privadas y por otro en los elementos naturales y en los espacios libres.



Los barrancos como elementos paisajísticos de indudable valor deberían abordar su acondicionamiento de forma integrada aplicando como criterio general la protección de los cauces de toda construcción, erradicando las instalaciones que existen, regenerando las laderas que aparecen con un cubierta vegetal muy degradada y convirtiendo su desembocadura en ramblas ajardinadas para formalizar su encuentro con el paseo y la playa.

Con ello los barrancos se convertirían en elementos estructurantes a modo de verdaderos “corredores ecológicos” que jugarían el papel de barrera verde natural entre las distintas urbanizaciones, tal como preconizaba el proyecto inicial que daba un enorme valor al medio natural y abogaba por preservar amplias áreas de vegetación natural y mantener incluso parte de los usos agrícolas en las zonas altas, como factores de atracción turística.

En el espacio libre común la actuación consistiría en articular dos sistemas de recorrido como bandas capaces de generar una mejora paisajística. Una primera franja localizada en torno a la carretera 812, donde actualmente se localizan las piezas hoteleras, que se propone como punto de atracción turística a modo de un paseo interior a cota media, revitalizando el área no solo con un tratamiento de jardinería, sino creando toda una serie de espacios de relación y conexión como plazas, pérgolas, bancos y ensanchando y creando áreas de esponjamiento para favorecer los aparcamientos controlados y liberar los actuales recintos donde se acumulan los coches.

La segunda banda se refiere al paseo de costa donde se plantea potenciar una nueva imagen de entrada en la zona de playa recuperando la zona de aparcamientos incontrolados como un espacio libre equipado para revitalizar el área, rehabilitando el pequeño centro comercial existente hoy en estado ruinoso, para que juegue el papel de dinamizador que tuvo antaño, de acuerdo a la filosofía de potenciar los elementos preexistentes frente a los de nueva construcción. Junto a la intervención en esta parte del paseo se añadiría el reacondicionamiento de la playa que incluiría la limpieza de piedras e instalación de infraestructuras y servicios nuevos para sustituir a los actuales que presenta graves deficiencias.

Esta propuesta conjunta de articular el paseo medio, el paseo de costa y los barrancos como nexos de relación transversal entre dichas franjas, supondría recuperar la idea original del proyecto ganador del concurso internacional Maspalomas-Costa Canaria de 1962, que planteaba actuaciones turísticas a modo de pequeños núcleos rodeados de vegetación y separados entre sí por zonas verdes y equipamientos colectivos.

CONCLUSIONES

Retomando las cuestiones que se plantearon como punto de partida y evaluando la utilización del SIG para la realización de este estudio destacamos los siguientes aspectos:

1º.- Dado el complejo funcionamiento del sistema turístico que como actividad económica localizada sobre el territorio integra la plasmación espacial de su oferta junto con datos de diferente naturaleza, la utilización de Sistemas de Información Geográfica ha sido fundamental, ya que son las únicas herramientas que permiten inventariar la información de cada elemento del sistema, desarrollar los análisis pertinentes, así como generar información geográfica para incorporar nuevos elementos.

2º En cuanto a la situación actual de este espacio y al tipo de soluciones propuestas nos inclinamos por compatibilizar la urbanización turística con el paisaje ya que constituye el procedimiento más eficaz para la preservación del medio y para garantizar un cierto grado de permanencia de aquellos rasgos que tiene sentido mantener y mostrar, frente a la estandarización. La recuperación del paisaje a pesar de la urbanización, parte del hecho de que la actividad turística puede ser compatible con los valores preexistentes siempre que no se trate sólo de operar por sustitución, sino de experimentar mediante la coexistencia de actuaciones compatibles.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (1998): *Gran Canaria Siglo XXI. Diagnóstico de situación*. Tomo I. Cabildo Insular de Gran Canaria y Universidad Las Palmas de Gran Canaria.

Cabildo Insular de Gran Canaria (2006): *Avance del Plan Territorial Especial de Ordenación Turística Insular de Gran Canaria*.

Cabildo Insular de Gran Canaria (2003): *Plan Insular de Ordenación de Gran Canaria*.

- Cáceres Morales, E. (2002): *Génesis y desarrollo del espacio turístico en Canarias*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Casariago Ramírez, J. y Ley Bosch, P. (2002): *La construcción del espacio turístico*. Exploraciones EX2. Universidad Las Palmas de Gran Canaria.
- Consejo Económico y Social de Canarias CES (2004): Diagnostico sobre el modelo de territorio derivado del planeamiento insular en la isla de Gran Canaria: los cambios de ocupación de suelo entre el PIOT de 1995 y el PIO de 2003. *Informe Anual*, pp. 592-605.
- Diez Santos, D. (2005): Diferenciación y delimitación municipal de los modelos turísticos en la provincia de Alicante. *Investigaciones Geográficas*, 38: 163-181.
- Hernández Luis, J. y Parreño Castellano, J. (2001): *Evolución e implicaciones del turismo en Maspalomas Costa Canaria*. Ayuntamiento de San Bartolomé de Tirajana.
- Máyer, P. y Pérez-Chacón, E: <http://age.ieg.csic.es>
- La Provincia (28 de febrero de 2004) *Especial sobre turismo*. Editorial prensa ibérica.
- Uboldi, J. y Ángeles, G. (2006): Las geotecnologías y el desarrollo del patrimonio turístico: <http://geogra.uha.es>

Zamorano Chico, Cristina; de Carvalho Cantergiani, Carolina; Quintanilla Ródenas, Antonio y Rodríguez Tendero, Martín (2008): Infraestructura de datos espaciales del Observatorio de la Sostenibilidad en España. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 436-446. ISBN: 978-84-96971-53-0.

INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES DEL OBSERVATORIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN ESPAÑA

Zamorano Chico, Cristina¹; de Carvalho Cantergiani, Carolina¹; Quintanilla Ródenas, Antonio² y Rodríguez Tendero, Martín²

(1) Observatorio de la Sostenibilidad en España. Universidad de Alcalá de Henares. Pza. San Diego, s/n (casa anexa) – 28801, Alcalá de Henares (Madrid) – cristina.zamorano@uah.es, carolina.carvalho@uah.es

(2) Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Universitario s/n 02071, Albacete - antonio.quintanilla@uclm.es

RESUMEN

La Infraestructura de Datos Espaciales del Observatorio de Sostenibilidad en España (IDE-OSE) tiene como objetivo poner a disposición de los usuarios, a través de Internet, información georreferenciada sobre aspectos socioeconómicos, ambientales, culturales, territoriales y de gobernanza que permitan evaluar la sostenibilidad del desarrollo español. También pretende favorecer la gobernanza fomentando la participación pública. A través de la IDE, el OSE responde al mandato fundamental que justificaba su constitución, “estimular el cambio hacia el desarrollo sostenible proporcionando a la sociedad una información relevante y fidedigna” utilizando para ello, además, las tecnologías de la información más avanzadas. En su primera etapa se ha desarrollado el geoportal y un visualizador de información cartográfica integrado por diversos módulos funcionales, a través de los cuales se pueden visualizar, cargar, consultar y explotar la información de una selección de indicadores del Sistema de Indicadores del OSE. La IDE-OSE cumple los estándares internacionales en materia de hardware, software y geodatos, con el fin de que la información y servicios que proporciona estén disponibles y puedan ser analizados, gestionados y explotados por cualquier usuario en cualquier lugar del mundo.

Palabras Clave: Infraestructura de Datos Espaciales, IDE, Sostenibilidad, Indicadores de Sostenibilidad, Estandarización.

ABSTRACT

The main goal of the Spatial Data Infrastructure of the Spanish Observatory for the Sustainability (SDI-SOS) is to offer users geographical information through Internet, related to socioeconomic, environmental, cultural, territorial and governance aspects, allowing them to assess the sustainability of Spanish development. It also intends to promote good governance trying to engage public participation. With the SDI, SOS responds to the core objective for his creation, “encouraging the changes towards the sustainable development providing relevant and trustful information to the society” and, moreover, using the most advanced information technologies. In a first stage, it was developed a “geoportal” and a cartographic information viewer compound by different functional modules, which allow data visualization, charge, search and exploration among a selection of OSE Indicators System. IDE-OSE fulfill the international standards in terms of hardware, software and geographical data, aiming that the provided information and services are completely available and can be analyzed, managed and explored by any user anywhere around the world.

Key-words: Spatial Data Infrastructure, SDI, Sustainability, Sustainability Indicators, Standardization

INTRODUCCIÓN

Se entiende por desarrollo sostenible aquel que persigue satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades (Informe Brundtland, 1987). Sin embargo, hay que destacar que la aplicación práctica de dicho concepto ha puesto de manifiesto su carácter relativo, ya que en cada lugar, en cada momento y en cada sociedad, el modelo

hacia un desarrollo sostenible será diferente. Por lo tanto, es necesario que cada sociedad defina su propio paradigma de desarrollo sostenible en el territorio que habita, a través de la implicación de todos los actores sociales y teniendo en cuenta la dimensión espacial y temporal.

Las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEs) al permitir el descubrimiento, acceso y utilización de información geográfica estandarizada a través de Internet (Craglia, 2006), tienen una función clave en la definición y aplicación de la componente espacial de los modelos de desarrollo sostenible. Por ejemplo, en la toma de decisiones en materia de ordenación del territorio. Fomentan la participación pública, favoreciendo la e-gobernanza, así como la colaboración y cooperación entre diferentes administraciones públicas a diferentes niveles, al requerir una reorganización y redistribución de la producción cartográfica (Hoyuela *et al.*, 2007).

Para analizar la situación de sostenibilidad en España y estimular el cambio en ésta dirección, el Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE) elabora informes anuales basados en Indicadores de Sostenibilidad, tratando de darles la mayor difusión y relevancia públicas. Los indicadores de sostenibilidad se caracterizan por:

- su *complejidad*, ya que se crean a partir de información de muy diversas fuentes (económicas, sociales, energéticas, institucionales, ambientales, etc.),

- su *variabilidad espacial*, que hace necesario contemplar su distribución geográfica, ya que muchas de las acciones políticas necesarias ligadas a la consecución de un desarrollo sostenible tienen una componente geográfica clara,

- y la *necesidad de ponerlos a disposición pública* de la forma más accesible posible para que sean útiles a los tomadores de decisiones y al resto de actores sociales, garantizando asimismo la transparencia en la gestión (Rodríguez *et al.*, 2008).

El marco actual de evolución de las IDEs tras diez años de desarrollos (Craglia, 2006) y el surgimiento de iniciativas a nivel internacional (como GSDI¹), europeo (INSPIRE²), nacional (IDEE³), regional (como IDEC⁴, IDENA⁵, IDCLM⁶, etc.) y local (LocalGIS, etc.), constituyen el contexto adecuado para la puesta en marcha de una iniciativa de IDE sobre sostenibilidad a nivel nacional en España, ya que cada vez hay disponible más información cartográfica proveniente de fuentes oficiales, que es una de las bases para el desarrollo de indicadores de sostenibilidad. Estas iniciativas permiten el acceso a información diversa de forma sencilla y estandarizada, contemplar su distribución territorial y ponerla a disposición para la sociedad en general.

Por ello, desde el OSE se ha puesto en marcha la Infraestructura de Datos Espaciales del Observatorio de la Sostenibilidad en España (IDE-OSE), que mediante diferentes servicios a través de Internet, de consulta, edición, carga de información, definición de grupos, de usuarios y sus privilegios, WMS, etc. permite el análisis y explotación activa de los indicadores georreferenciados de sostenibilidad socioeconómicos, ambientales, culturales y de gobernanza que se desarrollan en los informes anuales. El acceso al geoportal de la IDE-OSE se realiza a través de la página web del OSE en la siguiente URL, <http://www.sostenibilidad-es.org/Observatorio+Sostenibilidad/esp/IDE/>

METODOLOGÍA

La arquitectura del visor cartográfico de la IDE-OSE corresponde a una aplicación altamente modular y está basada en la arquitectura de tres capas (ver Figura 1).

La capa de presentación está formada por un conjunto de módulos funcionales que conforman la interfaz gráfica que va a permitir al usuario interactuar tanto con el visor cartográfico como con la herramienta de

¹ Global Spatial Data Infrastructure

² Infrastructure for Spatial Data in Europe

³ Infraestructura de Datos Espaciales de España

⁴ Infraestructura de Datos Espaciales de Cataluña

⁵ Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra

⁶ Infraestructura de Datos Espaciales de Castilla-La Mancha

administración. La comunicación cliente/servidor se realiza mediante la metodología AJAX. Todos los servicios solicitados por el cliente son atendidos por la pasarela que en función del servicio solicitado cargará el módulo correspondiente. De forma que únicamente se cargará en memoria el código necesario para responder al servicio solicitado.

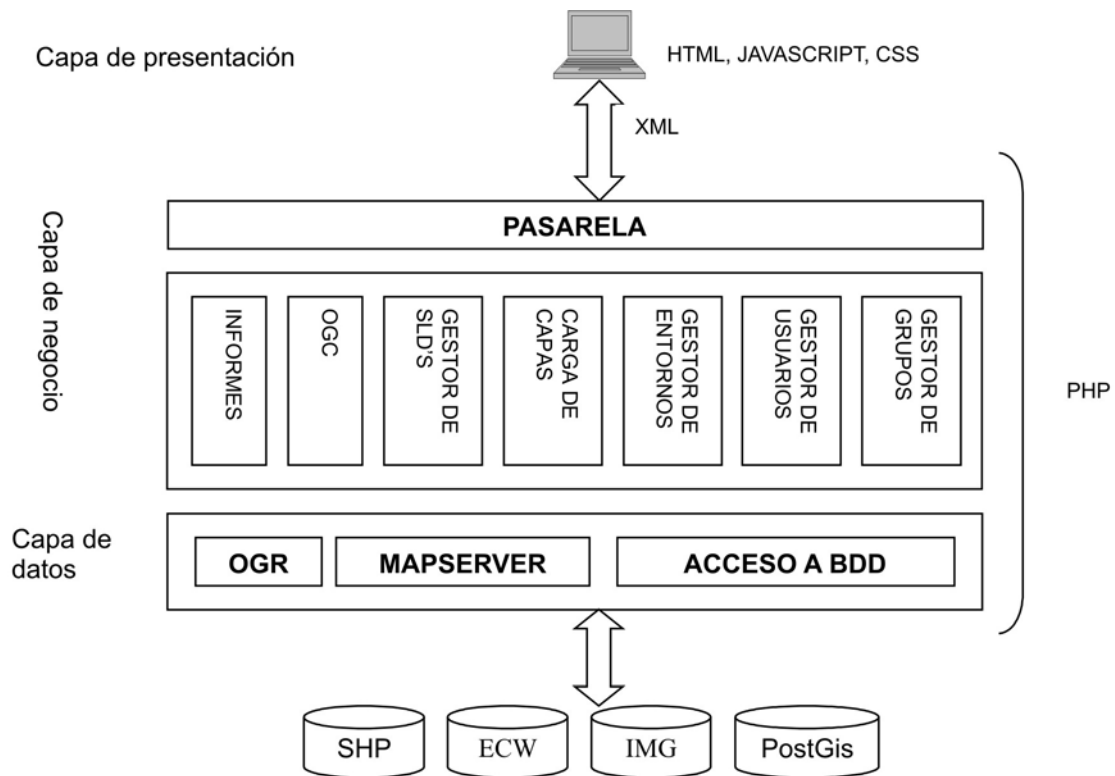


Figura 1. Esquema de la arquitectura del visor cartográfico de la IDE-OSE.

Un nivel por debajo, se encuentra lo que habitualmente se conoce como la capa de negocio. La aplicación está formada principalmente por ocho módulos funcionales, donde cada uno de ellos agrupa un conjunto de servicios web relacionados.

- *Gestión de grupos:* Permite crear, modificar las propiedades, asignar privilegios y borrar un determinado grupo.
- *Gestión de usuarios:* Permite crear, editar y borrar los usuarios de un determinado grupo.
- *Gestor de entornos:* Permite definir la configuración con que se van a visualizar un conjunto de capas asociadas a un determinado grupo.
- *Carga y registro de capas:* Permite subir capas a la aplicación.
- *Gestor de SLD's:* Permite definir el estilo de visualización de cada una de las capas a través de Style Layer Descriptor.
- *OGC:* Implementa el servicio WMS ampliando su funcionalidad, por ejemplo, se comprueba si el usuario que está solicitando el servicio tiene suficientes privilegios.
- *Informes:* Permite exportar a PDF o tabla Excel la información que se está visualizando.

Por último, el acceso a los datos se realiza a través de la API de Mapserver, GDAL/OGR y mediante el módulo de acceso a BDD.

La aplicación está implantada sobre el sistema operativo Linux (Fedora Core 6) con:

- Servidor Web Apache.
- PHP
- Servidor de mapas Mapserver
- OGR/GDAL
- Base de datos PostGIS.

DATOS Y METADATOS

A través de la IDE-OSE se pretende poner a disposición pública a través de Internet información sobre sostenibilidad. Principalmente los indicadores de sostenibilidad desarrollados por el OSE en sus informes anuales y temáticos, y la información cartográfica temática e indicadores, relacionados con las diferentes Plataformas de Comunicación Temática sobre Agua y Sostenibilidad ó Sostenibilidad Urbana y Territorio que se están llevando a cabo.

Como datos de referencia, siempre que estén disponibles se emplearán los datos cartográficos oficiales que cada administración pública sirve en formato WMS, como es el caso de la IDEE y las IDEs regionales y locales.

Datos: Sistema de Indicadores de Sostenibilidad del OSE

Para el desarrollo de su Sistema de Indicadores para la Sostenibilidad, el OSE ha tomado la actual lista europea de indicadores de desarrollo sostenible como instrumento de medida y los ha adaptado a la realidad de España. El proceso de asimilación de esta batería de indicadores, ha llevado a que en algunos casos se hayan desestimado algunos por no poder realizarse a una escala nacional (aunque si europea) y en otros casos se ha añadido una serie de indicadores no incluidos en la lista inicial europea, motivado por las características específicas tanto físicas, geográficas, estructurales y socioculturales de España, como de prioridad estratégica: tales como incendios, inmigración, desertificación, etc. Además, el OSE ha seleccionado como Indicadores Estrella los de mayor importancia para España (OSE, 2007).

Básicamente, la batería de indicadores que ha sido definida por el grupo de trabajo de Eurostat se divide en las siguientes 10 áreas: desarrollo económico, pobreza y exclusión social, mayores, salud pública, cambio climático y energía, modelos de producción y consumo, recursos naturales, transporte, gobernanza y compromisos internacionales. Además de estas, el OSE ha incluido un área adicional de Cultura en su Sistema de Indicadores para la Sostenibilidad.

Esta batería de indicadores básica presenta un desarrollo basado en un modelo de pirámide jerárquica en función de su alcance y que ha de ser extrapolable a todos los países miembros:

§ Nivel 1: En la cima de la pirámide, deben estar entre 10 y 20 indicadores para cubrir el análisis de los problemas más importantes de Desarrollo sostenible en el marco de la Unión Europea. En este sentido se han definido 20 indicadores de primer nivel para el caso de España considerando las singularidades de nuestro país y la aplicación de la futura Estrategia Española de Desarrollo Sostenible (EEDS).

§ Nivel 2: El segundo nivel de la pirámide lo constituyen indicadores relacionados con alguna actuación de la política general dando información más detallada sobre el cumplimiento de políticas. Este segundo nivel debe contener entre 30 y 40 indicadores.

§ Nivel 3: El tercer nivel, incluye el mayor número de indicadores que permitan supervisar la efectividad de las medidas para la consecución de objetivos específicos y el nivel alcanzado teniendo en cuenta las interacciones. No existen restricciones al número de indicadores en este nivel dado que depende mucho de las características propias del ámbito de análisis.

El objetivo de este planteamiento basado en indicadores, no es tanto evaluar si el modelo español es sostenible o no, sino indicar si se está en el camino correcto para lograr avanzar por la senda adecuada de la sostenibilidad.

Del Sistema de Indicadores para la Sostenibilidad, a través de la IDE-OSE se han puesto a disposición en una primera etapa los indicadores de Nivel I y los clasificados como indicadores Estrella. Más adelante se incluirán los de nivel II y nivel III, así como el resto de indicadores considerados por el OSE que no están incluidos dentro de la batería propuesta por Eurostat. Cada indicador está compuesto por varias variables, de las cuales, siempre que está disponible, se incluye su distribución espacial (hasta ahora para España principalmente por Comunidades Autónomas) y su evolución temporal.

Metadatos

Los metadatos son imprescindibles para encontrar fácilmente la información y hacer un correcto uso de la misma (Craglia, M, 2006). Como fase previa al desarrollo de los metadatos normalizados según la Norma Internacional ISO19115, y por las características singulares de la información que proporcionan los indicadores del OSE, se ha definido un metadato resumido.

Desde el panel de leyenda del visor cartográfico se accede al metadato de cada indicador (ver figura 3).

SERVICIOS Y FUNCIONALIDAD

A continuación se exponen los servicios disponibles en la IDE-OSE;

Gestor de grupos: Plataformas de comunicación temática

El gestor de grupos permite la designación de diferentes grupos, donde cada uno de ellos puede tener asignadas distintas capas temáticas, un idioma por defecto (inglés, portugués, italiano, turco, francés o griego), un ámbito geográfico y tener un aspecto exclusivo. El administrador define las características específicas de cada grupo, los diferentes usuarios que pueden tener acceso así como sus permisos y contraseña (ver figura 4).

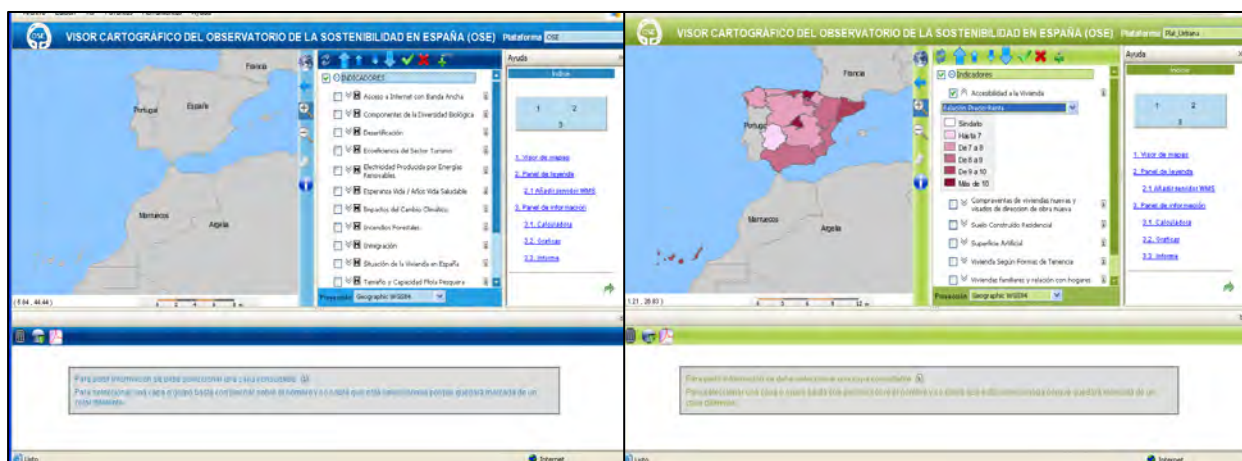


Figura 2. Accesos y configuración del visor general (izquierda) y del visor de la Plataforma de Sostenibilidad Urbana y Territorio (derecha)

A través del gestor de grupos se han diseñado diferentes configuraciones del visor cartográfico de la IDE-OSE; una general (ver figura 2 izquierda) y una para cada una de las Plataformas de Comunicación Temática que desarrolla el OSE (ver figura 2, derecha).

Desde el visor cartográfico general se pone a disposición el Sistema de Indicadores de Sostenibilidad del OSE.

Las Plataformas de Comunicación Temática tienen como objetivo promover un medio de discusión temática y difundir conocimiento específico sobre la gestión sostenible del agua (Plataforma de Comunicación Temática sobre Agua y Sostenibilidad) o del territorio y el urbanismo (Plataforma de Comunicación Temática de Sostenibilidad Urbana y Territorio). Desde los portales de cada una de las plataformas se accede a su visor cartográfico, a través del cual es posible cargar, modificar, analizar y editar las leyendas., de la información temática e indicadores específicos relacionados con las diferentes temáticas.

Gestor de usuarios

Para cada uno de los grupos el administrador del sistema define diferentes usuarios y sus privilegios de acceso. En el módulo de gestión de usuarios (figura 4), se puede visualizar la información básica de cada uno, y también a qué grupos están asignados. Dentro de cada grupo, existe un listado de los permisos que tiene ese usuario en cada grupo(s) al que pertenece, lo que definirá las intervenciones que podrá realizar dentro de su grupo.

Se ha desarrollado para todos los grupos un *usuario anónimo*, al cual se accede directamente a través del geoportal de la IDE-OSE, o desde la página web de las plataformas, sin ninguna contraseña (figura 3) y con funcionalidades y acceso a datos limitadas. La configuración del visor cartográfico del usuario anónimo es fija y está organizada en un único panel de visualización cartográfica también de tamaño fijo, un panel de leyenda, una ventana de ayuda y el panel de información.

En el *panel de leyenda* se accede a los diferentes indicadores, sus variables, y al metadato de cada uno de ellos. Además es posible modificar el orden de visualización, y crear conexiones WMS con servidores externos.

En el *panel de información* se muestra el resultado, en tablas alfanuméricas, de las consultas realizadas sobre los indicadores en el panel de visualización cartográfica. Permite además realizar operaciones algebraicas con los datos, crear gráficos, informes de resultados y descargar la información en formato de EXCEL.

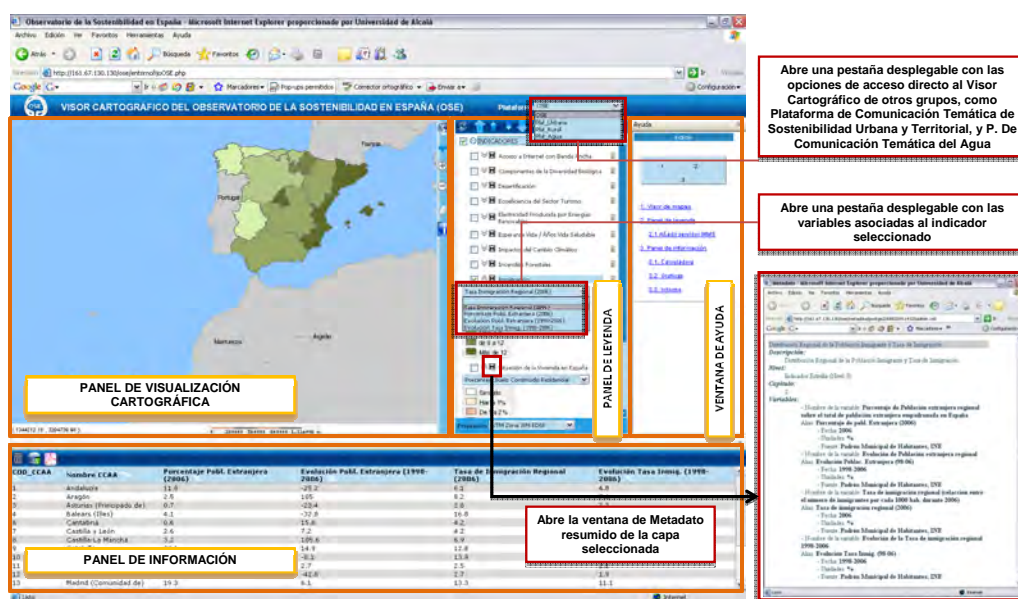


Figura 3. Configuración fija del visor cartográfico para el usuario anónimo de los diferentes grupos.

Los *usuarios con clave* acceden directamente a la ventana de gestión del visor de cartografía y según sus privilegios pueden utilizar diferentes módulos funcionales de la aplicación. Los privilegios posibles de asignación para cada usuario son: gestión de usuarios, gestión de grupos, carga de información, gestión de entornos, gestión de información y gestión de leyendas (figura 4). La posibilidad de definir usuarios con clave permite que el personal del OSE pueda trabajar con la información cartográfica, publica o no, en forma de Intranet, sirviendo para el desarrollo de los informes y, además, que los diferentes organismos, el comité científico del OSE y las administraciones que colaboran con el OSE puedan también participar en el análisis, explotación y además, en la carga de información en el sistema. Un ejemplo de ello es la carga de indicadores de sostenibilidad del ámbito geográfico de su competencia por parte de los grupos de acción local que actúan en el medio rural.

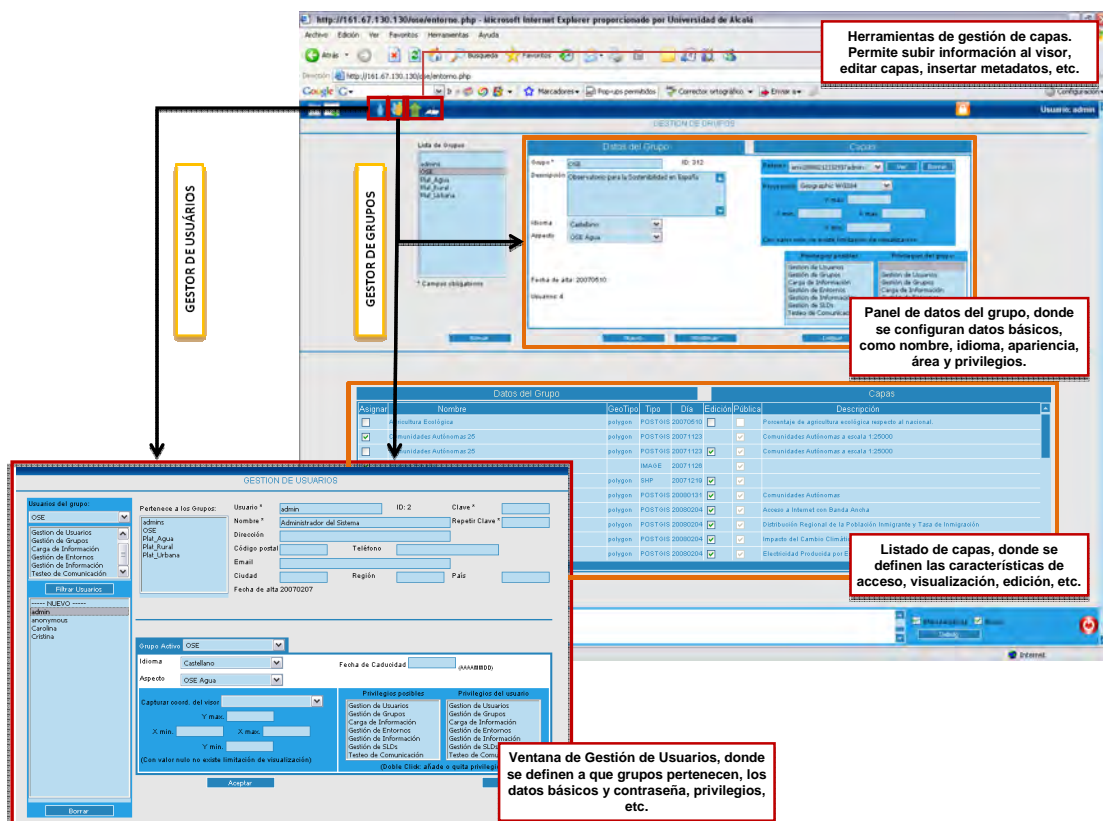


Figura 4. Ventana de gestión del visor cartográfico, accesible a los usuarios con clave.

Gestor de entornos

Una vez definidos los grupos, usuarios y sus respectivos privilegios, es importante asignar cuales de las capas existentes en el sistema podrán ser accedidas a través de cada visor. A través del gestor de entornos, se accede al listado de todas las capas disponibles en el sistema, con sus respectivas características (nombre, tipo de vector, tipo de capa, fecha en que se subió, si es editable o no, si es pública, así como una corta descripción). Desde éste módulo, es posible asignar cada capa al grupo correspondiente y definir si es pública o no.

Además, permite configurar como se van a visualizar cada conjunto de capas asociadas a un determinado grupo. Un grupo puede tener definidos varios entornos pero únicamente podrá tener uno asignado como entorno de visualización por defecto. Este entorno será el que se visualice en el visor cuando un usuario entre a la aplicación de administración a través de dicho grupo o a la página publica del mismo.

Gestión de capas

El gestor de capas permite al usuario cargar en la aplicación capas vectoriales, raster y alfanuméricas. La aplicación distingue cuatro tipos de carga de información, de acuerdo con el modo en que ésta será almacenada en el sistema:

- Formato Shapefile: El sistema almacena los archivos .shp, .dbf y .shx tal cual se han subido al servidor. Este tipo de carga de información se aconseja cuando el tamaño de la capa no supere 1MByte.
- Tabla espacial PostGIS: El sistema almacena los archivos .shp, .dbf y .shx como tabla espacial en la base de datos.
- Tabla vinculada a otra tabla espacial: El sistema almacena el archivo .dbf como una tabla en la base de datos y además establecerá a través del campo indicado (ejemplo: CCAA) una relación con otra tabla espacial (por ejemplo, capa de comunidades autónomas) para su posterior visualización en el visor de mapas.
- Raster: Permite cargar en el sistema imágenes en los siguientes formatos: JPEG, ECW, TIFF, IMG.

Calculadora lógico-aritmética

La calculadora lógico-aritmética del visor permite al usuario realizar consultas cruzadas entre diferentes variables de un indicador. La herramienta posee un listado de los campos disponibles en la consulta, así como los operadores lógicos asociados a los cálculos. El usuario puede definir un nombre para la ecuación, y el resultado figura como un campo adicional en la tabla de atributos del tema. Un ejemplo, sería el cálculo del porcentaje de un tipo de energía específico, la eólica (Figura 5), respecto al total de energía renovable, una vez que tenemos el total de energía por cada modo de producción (eólica, hidráulica, solar y biomasa).

Abre la ventana de cálculo entre variables de un indicador

Realiza el cálculo y representa como un campo adicional

Si es necesario, es posible generar un informe en PDF o XLS con ese resultado

CCAA	Hidráulica	Eólica	Biomasa	Solar	Total Energías Renovables	%Eólica/Total Renov
Andalucía	841	1042	725	0	2608	39.802375094927
Aragón	0	0	0	0	0	0
Asturias (Principado de)	0	0	0	0	0	0
Baleares (Islas)	0	0	0	0	0	0
Canarias	0	0	0	0	0	0
Cantabria	0	0	0	0	0	0
Castilla y León	6470	3940	274	14	10598	36.332515566975
Castilla-La Mancha	521	3535	99	0	4555	86.237124686632
Cataluña	2716	301	77	7	3101	9.70654627539503
Comunidad Valenciana	1028	266	65	13	1368	19.5588235294118
Extremadura	2245	0	0	1	2246	0
Galicia	6594	5970	242	1	12807	46.6151323494964
Madrid (Comunidad de)	29	0	58	6	105	0
Murcia (Región de)	45	93	12	6	156	69.453846153846
Navarra (Comunidad Foral de)	97	2248	269	28	2642	85.087052611658
País Vasco	232	339	65	3	639	53.4960715421304
Riña (La)	69	697	3	1	970	92.474526894237
Ceuta	0	0	0	0	0	NaN
Melilla	0	0	0	0	0	NaN

Figura 5. Detalle de aplicación de la calculadora lógico-aritmética y creación de informes.

La mayor potencialidad de la calculadora está en permitir al usuario realizar cálculos personalizados, integrando la información de interés.

Gestor de gráficos

La herramienta de gestión de gráficos permite, a partir de la información alfanumérica asociada a cada indicador o de los resultados de aplicar la calculadora, la representación en diferentes formatos gráficos de la información.

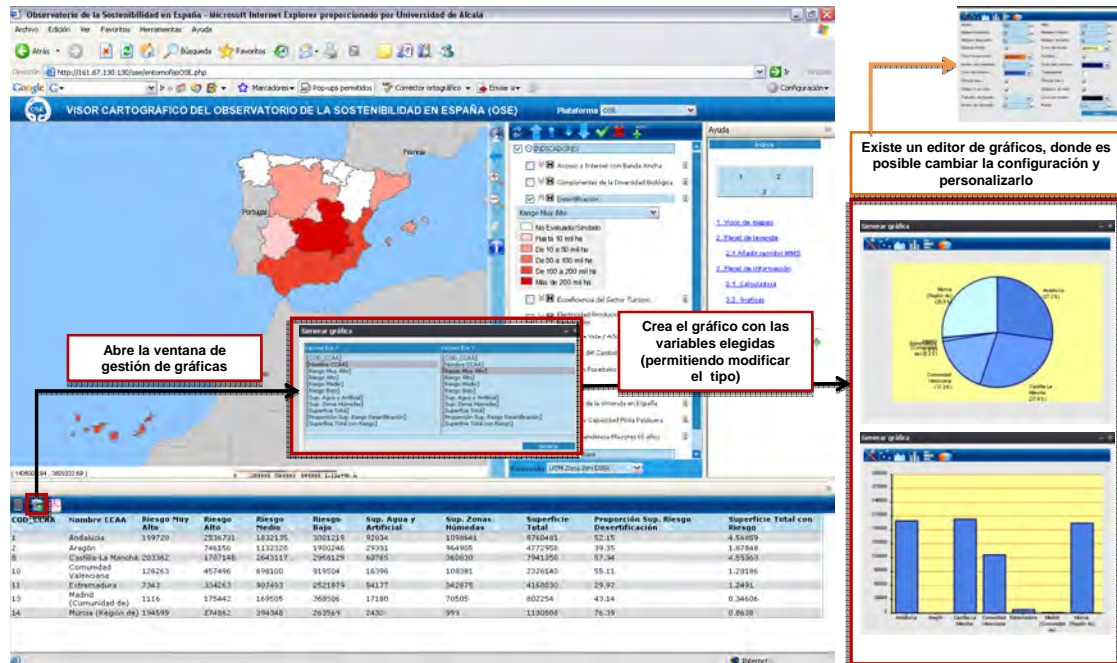


Figura 6. Herramienta de gestión y edición de gráficos.

Gestión de leyendas por Internet

Permite definir el estilo de visualización de cada una de las capas a través del estándar Style Layer Descriptor (SLD).

CONCLUSIONES Y FUTUROS PASOS

El diseño de muchas estrategias de sostenibilidad del desarrollo en materia de transporte, energía, conservación del patrimonio natural y cultural, etc. tienen un importante aliado en las IDEs. La idea principal es ofrecer a la sociedad un medio de compartir información, interactuar con el medio, conocer los diferentes aspectos temáticos en ellas abordados y que sirvan para el intercambio de opinión. De tal forma que los ciudadanos dispongan de una base para opinar y participar en las decisiones que se toman por parte de las políticas públicas y que se sientan implicados dentro del sistema, lo que fomentará el esfuerzo por mantener, mejorar y utilizar su territorio de la mejor manera posible, y consecuentemente se consideren responsables de los resultados producidos.

La IDE-OSE constituye la primera iniciativa consistente en la implantación de una IDE sobre sostenibilidad a escala nacional en Europa, y una de las primeras a nivel mundial (Rodríguez, 2008). Sin embargo, se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo, ya que se ha creado con un ambicioso objetivo; el cálculo de indicadores de sostenibilidad mediante servicios Web Processing Service (WPS). Este tipo de servicios permiten, a partir de la conexión a los productores de datos cartográficos y alfanuméricos oficiales necesarios en cada caso, y a través de la aplicación de un algoritmo o función, la obtención de resultados normalizados. Y lo que es más importante, basado en los datos oficiales actualizados. Para cumplir éste objetivo

la IDE-OSE depende del desarrollo de la tecnología y servicios de cartografía a través de Internet y del avance de las diferentes iniciativas de IDEs a nivel nacional de los organismos oficiales productores de datos cartográficos y alfanuméricos en diferentes ámbitos.

AGRADECIMIENTOS

A todo el equipo del Observatorio de la Sostenibilidad en España y colaboradores en los informes, al equipo del Instituto de Desarrollo Regional de la Universidad de Castilla-La Mancha, a los Miembros del Grupo de Trabajo de la Infraestructura de Datos Espaciales del España y al Ministerio Medio Ambiente que están apoyando de diversas maneras desde su inicio este proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Craglia, M. (2006): Introduction to the International Journal of Spatial Data Infrastructures Research. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, Vol.1: 1-13.

Geoportal IDE-OSE: <http://www.sostenibilidad-es.org/Observatorio+Sostenibilidad/esp/IDE/>

Global Spatial Data Infrastructure: <http://www.gsdi.org/>

González Regidor, J. (Coord.) (2008): *Desarrollo Rural Sostenible: Un nuevo desafío*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Goodchild, M.F.; Fu, P. y Rich, P. (2007a): Sharing geographic information: an assessment of the Geospatial One-Stop. *Annals of the Association of American Geographers*, 97(2): 249-265.

Goodchild, M.F. (2007b): Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, Vol.2: 24-32.

Hoyuela Jayo, A. y Citores Fernández, M. (2007): Infraestructura de Datos Espaciales como paradigma del desarrollo sostenible. *IV Jornadas Técnicas de la IDE de España (JIDEE07)*.

IDEE - Infraestructura de Datos Espaciales de España: www.idee.es

Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1987): *Nuestro Futuro Común*.

INSPIRE – Infrastructure for Spatial Information in the European Community. <http://www.ec-gis.org/inspire/>

Map Server: <http://mapserver.gis.umn.edu/>

Observatorio de la Sostenibilidad en España (2007): *Sostenibilidad en España 2007*. Mundi-prensa, Madrid.

Observatorio de la Sostenibilidad en España (2006): *Cambios de ocupación del suelo en España. Implicaciones para la sostenibilidad*. Mundi-prensa, Madrid.

Rodríguez Pascual, A.F.; Abad Power, P.; Alonso Jiménez, J.A.; Jiménez, A.; Zamorano Chico, C.; Cantergiani, C.C.; Zúñiga Rodríguez, F.C. y Caballero Cáceres, C. (2008): La IDEE y el Desarrollo Sostenible. *Revista Mapping*, 125: 12-19.

OGC, Servicios WPS: <http://www.opengeospatial.org/standards/wps>

Aguado, I.; Romero, A.; Yebra M.; Prado, E. y García, M. (2008): Estimación de parámetros forestales a partir de índices normalizados en imágenes ATM, TM y MODIS. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 447-461. ISBN: 978-84-96971-53-0.

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS FORESTALES A PARTIR DE ÍNDICES NORMALIZADOS EN IMÁGENES ATM, TM Y MODIS

Aguado, I¹; Romero, A¹; Yebra M¹; Prado, E^{1y2} y García, M¹

(1) Universidad de Alcalá. Departamento de Geografía, C/ Colegios, 2. inmaculada.aguado@uah.es

(2) Departamento de Observación de la Tierra, Teledetección y Atmósfera. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial – INTA. Ctra. De Ajalvir, km. 4. 28850 Torrejón de Ardoz, Madrid

RESUMEN

La biomasa del dosel vegetal es un parámetro forestal imprescindible para cuantificar la cantidad de carbono disponible, la distribución de nutrientes en el suelo o para evaluar el rendimiento de la vegetación en términos de peso, volumen y productividad primaria. Por otro lado, en el campo de los incendios forestales resulta una variable de interés para estimar la carga de combustible relacionada con las emisiones de carbono procedentes de un incendio o en los modelos de combustible relacionados con la propagación del fuego, principalmente. Desde un punto de vista práctico, la biomasa foliar puede ser estimada a partir del contenido en materia seca foliar (Cm) y el índice de área foliar (LAI). En este trabajo se explora la posibilidad de estimar el LAI a partir de los índices de vegetación revisados en la bibliografía y, el Cm, a partir de un índice normalizado desarrollado con el modelo de transferencia radiativa PROSPECT y datos de campo.

Los resultados muestran que el LAI no puede ser estimado con precisión debido a las bajas correlaciones encontradas entre los índices de vegetación revisados y las mediciones de LAI tomadas en campo. Por su parte, el índice normalizado propuesto para estimar Cm combina dos regiones del SWIR.. Este índice fue aplicado a tres sensores que difieren en resolución espacial (ATM- 2m, TM- 30m, MODIS-500m). El Cm es estimado con porcentajes de error cuadrático medio de 20%, 40,6% y 36,5%, cuando se emplea el sensor ATM, TM y MODIS, respectivamente.

Palabras Clave: Cm, modelos de reflectividad, ATM, TM, MODIS.

ABSTRACT

Canopy biomass is a key forest parameter in the quantification of the amount of carbon available, the distribution of nutrients in the soil or in the evaluation of plant production in terms of weight, volume and primary productivity. Regarding fire related applications, it is a variable of interest to estimate the fuel load related to carbon emissions from a fire or in the fuel models a critical variable in fire propagation, fundamentally. From a practical point of view, canopy biomass can be estimated from the leaf dry matter content (Cm) and the leaf area index (LAI). In this work, the possibility of estimating LAI using vegetation indexes found in the literature and Cm by means of a normalized index developed with PROSPET radiative transfer model and field data is investigated.

The results show that LAI can not be accurately estimate due to the low correlations found between the revised vegetation indexes and the LAI measured on field. The proposed normalized index to estimate Cm used two regions located in the SWIR. This index was applied to three sensors with different spatial resolution (ATM- 2m, TM- 30m, MODIS-500m). On the other hand, the leaf dry matter content is estimated with percentages of root mean square error of 20%, 40.6% y 36.5% when using ATM, TM y MODIS sensors, respectively.

Key Words: Dm, Reflectance models, ATM, TM, MODIS.

ANTECEDENTES

El conocimiento de la variación temporal y espacial de variables biofísicas de las cubiertas forestales es fundamental para entender numerosos procesos de la naturaleza y parametrizar diferentes modelos que estudian

la dinámica de la vegetación (Verstraete et al 1994). El índice de área foliar (LAI) es un parámetro fundamental en los modelos de productividad agrícola y forestal (Running y Nemani., 1989), proporcionando además información de utilidad en relación con el balance de carbono (Schlegel et al., 2000). La biomasa, por otro lado, es una variable estrechamente relacionada con la acumulación de combustibles, la localización de nutrientes y la producción forestal (Lu, 2006, Zheng et al., 2004).

Por otro lado, en el ámbito de la lucha contra los incendios forestales cabe destacar la importancia de estos parámetros en los modelos de estimación del peligro de incendio. En la actualidad, el fuego se ha convertido no sólo en la mayor amenaza natural para los bosques mediterráneos, sino también en uno de los principales problemas socio-económicos que afectan al sector forestal, ya que ha aumentado tanto su frecuencia como su severidad (Alexandrian et al., 1992). Los parámetros biofísicos que caracterizan el tipo y el estado del combustible cumplen un papel fundamental entre las diversas variables de entrada de estos modelos de riesgo de incendios: topográficas y meteorológicas (Chuvienco et al., 2002; Van Wagner, 1967). Dichas variables son fundamentalmente el contenido de humedad de la vegetación (Fuel Moisture Content - FMC) y la biomasa disponible para la combustión, que puede ser estimada indirectamente a partir del LAI (Keane y Burgan., 2001) y el contenido de materia seca foliar (Cm). Estas variables son críticas para la propagación y pueden mejorar considerablemente las predicciones de los modelos de comportamiento del fuego (Carlson y Burgan, 2003; Finney, 1998). También en relación con los incendios forestales y en el contexto del cambio climático, la biomasa vegetal es una variable fundamental en los modelos de estimación de emisiones de carbono procedentes de un incendio (French, et al. 2000).

Los métodos más precisos de estimación de estos parámetros, son los muestreos destructivos en campo, si bien son una aproximación a la realidad pues los resultados obtenidos en un punto del territorio son extrapolados a superficies más extensas lo cual produce errores que son dependientes de la similitud entre la muestra y el resto de las superficies a estimar. La estimación de biomasa, por ejemplo, se basa comúnmente en la utilización de ecuaciones alométricas que consideran una serie de parámetros como la altura, diámetro y densidad de la estructura forestal, generalmente estas relaciones varían en función del lugar, la edad de la masa forestal y las especies consideradas. Obviamente, las actualizaciones suelen realizarse en períodos demasiado largos en determinadas aplicaciones. Por ejemplo, los inventarios forestales se realizan en períodos no inferiores a 10 años aproximadamente. Estos métodos resultan poco operativos y muy costosos, en la práctica, por lo que sólo se emplean para validar otras metodologías.

Como alternativa surgen entonces métodos basados en la teledetección. Existen principalmente dos perspectivas al respecto:

Ajustes empíricos multitemporales entre el parámetro objeto de estimación y los datos de reflectividad de la cubierta forestal observados.

Modelos biofísicos de simulación de la reflectividad (Radiative Transfer Model-RTM).

Los primeros han sido ampliamente empleados para la estimación de biomasa (Riaño et al., 2003), LAI (Fraser and Li. 2002; Thenkabaila et al. 2004) pero presentan como principal problema el escaso poder de generalización ya que son muy dependientes de los datos usados en la calibración (tipo de vegetación) y las condiciones bajo las cuales se tomaron (geometría de observación, fundamentalmente) por lo que su empleo queda limitado a aplicaciones locales.

Más recientemente, han surgido como alternativa los RTM. Estos modelos de simulación tienen en cuenta los procesos biofísicos que describen las relaciones entre las características de la cubierta forestal y su interacción con la luz en la parte reflectiva del espectro, por ello, al tener mayor base física, permiten aplicarse – adecuadamente parametrizados- a muy diversas condiciones (Privette et al. 1996), superando así la principal limitación de las metodologías empíricas. No obstante, los modelos de simulación no están exentos de problemas, por un lado, determinadas aplicaciones requieren el uso de modelos complejos que necesitan en su procesamiento muchas variables de entrada y son difíciles de parametrizar, por otro lado, algunos modelos requieren un gran esfuerzo computacional.

Los RTM pueden ser empleados tanto de forma directa como inversa para la estimación de múltiples parámetros biofísicos. La forma directa, introducir los parámetros de entrada para obtener como salida los datos de reflectividad simulados, ayuda a diseñar nuevos índices de vegetación sensibles a variaciones en los parámetros

de interés (Zarco Tejada y Ustin 2001). Por su parte, la forma inversa permite estimar los parámetros de entrada del modelo a partir de datos observados de reflectividad, mediante un ajuste de los mismos hasta que los espectros modelados se ajusten a los observados. Dichos espectros observados pueden proceder de radiómetros de laboratorio o, desde una visión más operativa, de imágenes satélite de diferentes resoluciones tanto espectrales como espaciales. Las aplicaciones más comunes utilizan sensores hiperespectrales, ya que poseen mayor información espectral, sin embargo en los últimos años se están potenciando más el uso de imágenes derivadas por ejemplo del sensor MODIS (Zarco Tejada et. al. 2003; Yebra et al. 2008).

Entre las aplicaciones recientes de estos modelos para la estimación de diferentes parámetros cabe destacar los trabajos de Kotz et al., (2004) para la estimación de LAI en cultivos, pastizales y especies forestales y Riaño et al. (2005); Romero et al. (2007) para estimar contenido de materia seca foliar de especies forestales.

El objetivo de este trabajo es estimar variables biofísicas a partir de la utilización de modelos de transferencia radiativa y modelos empíricos con diferentes resoluciones (espaciales y espectrales) e información complementaria obtenida por muestreos de campo. Más concretamente, nos centraremos en la estimación de la biomasa foliar, ya que como se ha comentado con anterioridad, es una variable crítica en distintas aplicaciones del ámbito forestal. El modelo para la estimación de biomasa requiere la utilización de las variables contenido de materia seca foliar y LAI, por tanto, también estas variables serán estimadas. Por otro lado, nos interesa conocer la capacidad de distintos sensores ATM, TM y MODIS con distintas resoluciones espaciales (2m, 30m y 500m respectivamente) para estimar estos parámetros de modo operativo.

DATOS Y MÉTODOS

Datos de campo

Con el fin de comprobar la relación existente entre la medición de reflectividad efectuada por los sensores a bordo de distintas plataformas y las medidas de los parámetros a estimar (materia seca foliar y LAI) tomados en terreno, así como para validar las estimaciones, se organizó una campaña de campo coincidente, en fecha, con la programación de un vuelo aéreo a cargo del Natural Environment Research Council (NERC) que portaba el sensor ATM, EAGLE, HAWK y el sensor LIDAR (Light Detection and Ranking) Optech ALTM 3033, este vuelo fue financiado por la Universidad de Manchester. La imagen se adquirió el 16 de mayo de 2006 y el área muestreada se localiza en la provincia de Guadalajara en las inmediaciones del Parque Natural del Alto Tajo (Figura 1). Debido a problemas de demora en la recepción de los datos en este trabajo solo ha sido posible disponer del sensor ATM. Tanto los sensores EAGLE como HAWK poseen problemas radiométricos que no han podido resolverse durante el transcurso del estudio. En cuanto a los datos LIDAR, el pre-procesamiento necesario para obtener la nube de puntos (coordenadas X,Y,Z) así como la intensidad de los retornos retrasaron la entrega del producto por parte del NERC, por lo que dichos datos no han podido emplearse en este trabajo.

En el proyecto se han localizado, a lo largo de la línea de vuelo, 5 zonas de estudio. La zona 1 se encuentra situada en el interior de la zona afectada por el incendio de la Riba de Saelices (2005), el resto de las zonas (2-5) están situadas, al sur de la primera, en zonas no afectadas por el incendio. Cada una de las zonas es representativa de diferentes formaciones de vegetación mediterránea (tabla 1).

Tabla 1. Vegetación mediterránea representativa de cada zona.

ZONA	Formación vegetal	Especies muestreadas
1	Pinar	<i>Pinus pinaster Ait</i>
2	Sabinar-encinar	<i>Juniperus thurifera L.</i> y <i>Quercus ilex L.</i>
3	Sabinar amduro	<i>Juniperus thurifera L.</i>
4	Pinar	<i>Pinus nigra J.F.</i>
5	Encinar-Sabinar	<i>Juniperus thurifera L.</i> y <i>Quercus ilex L.</i>

Cada una de las zonas comprende varias parcelas en las cuales se desarrolló el muestreo. Las parcelas difieren en cuanto al diseño del muestreo debido a que se han recolectado datos para distintas aplicaciones ade-

más de las destinadas a este estudio. De este modo las trece parcelas situadas en la zona 1 ocupan una superficie de 40*40 m, separadas entre sí a distintas distancias, dependiendo de la disponibilidad de árboles no afectados por el incendio.

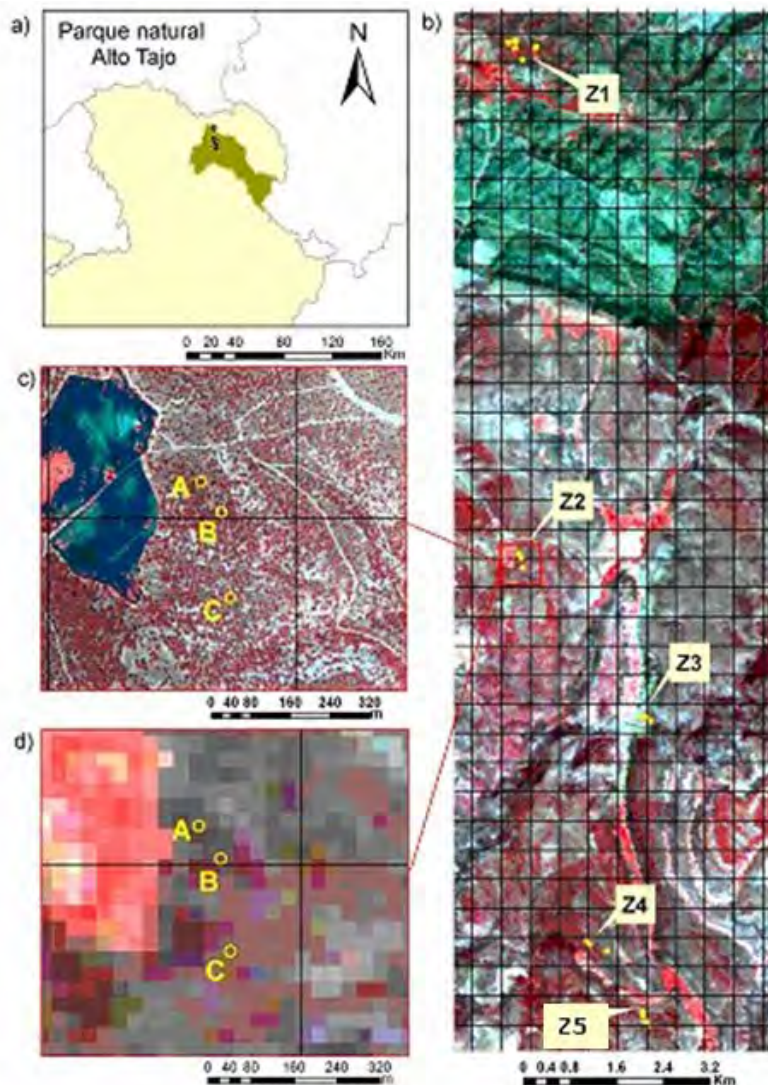


Figura 1. Localización a) General del parque Natural del Alto Tajo b) Zonas de estudio sobre imagen TM (falso color 4/3/2) c) y d) Detalle de la zona 2 sobre imagen ATM y TM, respectivamente. Se superpone sobre las imágenes la cuadrícula correspondiente a los píxeles MODIS.

Por su parte, en las parcelas situadas en las zonas no afectadas por el incendio (2-5) se establecieron 3 parcelas de muestreo (A, B y C) de 30 m de diámetro separadas entre si unos 100m de Norte a Sur (Fig.1 c y d). El tamaño de la parcela se decidió para representar un píxel Landsat (30m), mientras que la separación de 100 m para abarcar un territorio que pudiese ser representativo de un píxel MODIS (500m).

En cada parcela, se midieron parámetros biofísicos y bioquímicos. Entre las mediciones se encuentran espesor de agua equivalente (EWT, g/cm^2), contenido de materia seca (Cm, g/cm^2) y LAI.

No se dispone de mediciones de los parámetros de clorofila y estructura interna de la hoja necesarios para procesar los modelos de transferencia radiativa que se van a utilizar en este trabajo. La estructura interna de las hojas y acículas (N) no pudo ser medida debido a la ausencia del instrumental necesario, por esta razón se con-

sideró un valor de 3,5 adecuada para especies de coníferas, según revisión bibliográfica (Zarco, P. et al. 2004). Del mismo modo, el parámetro de clorofila no pudo ser obtenido en campo, aplicándose un valor de 38 mg/cm² (Moorthy et al, 2003).

Las muestras se recolectaron en bolsas herméticas y conservaron en una nevera hasta ser transportadas al laboratorio donde fueron pesadas en fresco (P_f) con una balanza de precisión “Sartorius BP211D” (error de 0,01 mg.), e introducidas en una estufa durante 48 horas a una temperatura de 60° C para su secado. Transcurrido el tiempo fueron pesadas en seco (P_s) con la misma balanza. El contenido de agua de las hojas (C_w) se obtuvo a partir de la diferencia entre el pesado de las muestras frescas de las hojas y acículas -y de las muestras secas-, divididos por el área de las acículas en cm² (1), según la metodología propuesta por Danson et al. 1992:

$$C_w(g.cm^2) = \frac{P_f - P_s}{A} \quad (1)$$

El contenido de materia seca (C_m) se adquirió dividiendo el peso seco de las acículas por el área de éstas (2). El área foliar se estimó a partir de mediciones con scanner, en cuyo proceso se escanean las hojas o acículas para determinar su superficie, el scanner utilizado fue un Epson Stylus CX3650.

$$C_m(g.cm^2) = \frac{P_s}{A} \quad (2)$$

La estimación del índice de área foliar (LAI) se efectuó exclusivamente en la zona 1 a partir de la adquisición de fotografías hemisféricas para cada individuo utilizando una lente de ojo de pez, los resultados fueron procesados con el software HemiView 4.02. En el momento de redactar este trabajo no están disponibles las mediciones de LAI de las zonas 2-5.

Además se realizó en campo un levantamiento topográfico de las parcelas muestreadas mediante GPS (equipo Leica 1200) y estación total (Sokkia). Debido a las características del área de estudio se situaron puntos de referencia, en zonas despejadas que permitiesen una adecuada recepción de la señal GPS, mediante un posicionamiento diferencial GPS con precisiones mejores que 5 cm en la determinación de coordenadas X,Y,. Posteriormente se realizaron diversas poligonales y radiaciones para determinar las coordenadas del centro de cada parcela.

Procesamiento de imágenes

Tratamiento de imágenes ATM

Se adquirieron datos con el sensor Airborne Thematic Mapper (ATM). El sensor Daedalus (actualmente ArgonST) 1268 ATM es un escáner lineal de barrido, multiespectral que adquiere información en 11 bandas espectrales situadas en el visible, infrarrojo cercano, infrarrojo medio y térmico (tabla 2). Este sensor fue adquirido por el NERC en 1993 y su configuración espectral corresponde aproximadamente a la del sensor Landsat-TM siendo especialmente idónea en estudios de vegetación, debido a la inclusión de bandas en las regiones del visible, infrarrojo cercano y SWIR. El sensor ATM del Airborne Research & Survey Facility (ARSF) representa una actualización del sensor Daedalus original. El nuevo equipo proporciona una resolución radiométrica de 16-bits, con 65536 niveles de intensidad para la conversión analógica-digital e incrementa la relación señal/ruido.

La campaña se compone de 3 pasadas paralelas, rumbo Norte-Sur, con cierto grado de solape que aseguran la completa cobertura del área de interés.

La corrección de las distorsiones sufridas por las imágenes ATM durante su adquisición debido a los movimientos de la plataforma, se han abordado mediante una corrección de tipo paramétrico utilizando el software

de georreferenciación directa PARGE. La georreferenciación de las imágenes mediante este método requiere conocer la posición y orientación del sensor en cada instante de adquisición de las líneas de datos y el modelo geométrico de sensor, así como contar con un Modelo Digital del Terreno. El MDT utilizado ha sido remuestreado a 2 m de resolución para adaptarse a la resolución espacial del sensor desde el paso de malla original de 25 m.

Para la compensación del efecto atmosférico y de iluminación diferencial entre las diferentes pasadas se han convertido los valores de radiancia del sensor a valores de reflectividad en el terreno. Para ello se ha utilizado el software de corrección atmosférica ATCOR4, realizándose posteriormente un mosaico de imágenes de forma que se pueda trabajar con una imagen continua que abarque toda la zona de estudio.

Tabla 2: Características de los diferentes sensores utilizados en este estudio y número de observaciones disponibles según resolución. Solo se describen las bandas utilizadas en este trabajo.

PLATAFORMA	SENSOR	BANDA	RESOLUCIÓN		Nº observaciones
			Espectral (μm)	Espacial (m)	
Terra	MODIS	1	0.62-0.67	500	5
		2	0.84-0.87		
		3	0.459-0.479		
		4	0.545-0.565		
		5	12.30-12.50		
		6	16.28-16.52		
		7	21.05-21.55		
Landsat 5	TM	1	0,45-0,52	30	17
		2	0,52-0,60		
		3	0,63-0,69		
		4	0,76-0,90		
		5	1,55-1,75		
		7	2,08- 2,35		
		Aeroportado	ATM		
2	0.45-0.52				
3	0.52-0.60				
4	0.60-0.62				
5	0.63-0.69				
6	0.69-0.75				
7	0.76-0.90				
8	0.91-1.05				
9	1.55-1.75				
10	2.08-2.35				

Tratamiento de imágenes Landsat5 TM

Se adquirió una imagen TM del 15 de junio de 2006, la más próxima en fecha, y en condiciones aceptables, al vuelo programado del sensor ATM. El proceso de corrección geométrica se llevó a cabo a partir de puntos de control, de los que se conocen tanto las coordenadas de la imagen a corregir como de la imagen de referencia. La corrección geométrica fue realizada para toda la imagen Landsat5 adquirida, utilizando el programa de tratamiento de imágenes PCI *Geomatics*. Se utilizaron 70 puntos de control, seleccionados a partir de una imagen georeferenciada, proyección UTM, zona 30 T, Datum Europeo 1950. En la corrección se obtuvo un

RMS de 0,29 m. El trasvase de ND a las coordenadas cartográficas fue abordado mediante el método del vecino más próximo. En la corrección atmosférica se aplicó el modelo de Chávez (1996), que corrige el efecto atmosférico restando a los niveles digitales de cada banda el mínimo de esa banda (dicho valor es obtenido de las cubiertas más absorbentes en la imagen -agua, sombras-).

Tratamiento de imágenes MODIS

El sensor MODIS presenta una buena resolución espacial para estudios regionales. Sus imágenes son gratuitas, y fueron descargadas del servidor de la Agencia Espacial Norteamericana (NASA) (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>). Las imágenes MODIS son convertidas en reflectividad por un equipo de expertos de la NASA (Justice et al. 2002). Utilizamos el producto de reflectividad MOD09, compuesto de 8 días de las siete primeras bandas del sensor (resolución 500 m) (Vermote y Vermeulen 1999), que incluía la fecha de muestreo (tabla2).

Extracciones de las imágenes

Con el fin de paliar el efecto de valores anómalos que pudieran extraerse como consecuencia de defectos en la corrección geométrica de imágenes y reducir el ruido consecuente de efectos atmosféricos residuales, los valores de reflectividad del ATM de cada una de las parcelas de las zonas 2-5 fueron extraídos como la mediana de los valores de reflectividad de los píxeles de arbolado dentro de cada parcela. Sin embargo, en las parcelas de la zona 1, se extrajo el valor coincidente con cada uno de los individuos muestreados. En la imagen del sensor TM se extrajo el valor de una ventana de 3 x 3 píxeles en torno al centro de cada parcela en todas las zonas utilizadas en el trabajo. Sin embargo, debido a la alta heterogeneidad de la zona, y a la baja resolución espacial de MODIS, solo se seleccionó el píxel de la coordenada central de la parcela para realizar las extracciones de las imágenes tomadas por dicho sensor. Este procedimiento de extracción fue aplicado a todas las zonas utilizadas en el estudio.

Estimación del contenido de materia seca a partir de un Índice Normalizado

A partir de las medidas tomadas en campo de C_w , C_m y los parámetros N y clorofila a+b obtenidos en la bibliografía se procedió a simular la reflectividad y transmisividad con el uso del RTM PROSPECT (Jacquemoud y Baret., 1990) tal como se describe en la metodología descrita por Romero et al. (2007). Los espectros derivados nos permitieron conocer la región del espectro más afectada por las variaciones en el contenido de materia seca y de este modo se propuso un índice normalizado que fue utilizado para la estimación.

Una vez definido el rango espectral del índice se seleccionaron los canales más apropiados en los sensores ATM, TM y MODIS como base para efectuar la estimación de la materia seca (tabla 3). Para ello se calibró una ecuación empírica mediante un análisis de correlación lineal entre el índice y el contenido de materia seca observada que luego fue aplicada a los diferentes sensores. De esta forma se puede generar una cartografía del contenido de materia seca para el área de estudio a diferentes resoluciones (2m, 30m y 500m).

La precisión de las estimaciones se cuantificó mediante el porcentaje medio de error (ΔR) (3) y, a nivel individual de cada estimación, con el residual absoluto (4). De esta manera, una estimación fue considerada precisa si el residual era menor o igual que la desviación típica de las muestras tomadas en campo.

$$\Delta R = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{Est - Obs}{Obs} \right) / n \right] \times 100\% \quad (3),$$

$$R = |Est - Obs|, \quad (4)$$

donde Obs. y Est. son los valores de FMC observados y estimados, respectivamente.

Estimación de LAI

De acuerdo con los sensores aeroportados disponibles en el vuelo NERC se propuso inicialmente la utilización del sensor LIDAR que ha ofrecido buenos resultados en la estimación de LAI en entornos mediterráneos (Riaño et al., 2005). Lamentablemente, este sensor en el transcurso del proyecto no ha estado disponible debido a problemas en la recepción de los datos. Por esta razón, al igual que en otras variables ya comentadas se utilizará el sensor ATM.

Se probaron los siguientes índices de banda ancha, que luego fueron abordados con las 3 resoluciones. NDVI (Normalized difference vegetation index) (Fassnacht et al., 1997), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) (Huete, 1988), NLI (Non-Linear vegetation Index) (Goel and Qin, 1994), RDVI (Re-normalized Difference Vegetation Index) (Roujean and Breon, 1995), MSR (Modified Simple Ratio) (Chen, 1996), WDV (Weighted Difference Vegetation Index) (Clevers, 1991), MNLI (Modified Non-linear vegetation Index), NDVI*SR, SAVI*SR (Gong et al., 2003), TSAVI (Transformed soil-adjusted vegetation index), PVI (Perpendicular vegetation index) and SR (Near-infrared/red reflectance ratio (Simple Ratio VI) (Baret and Guyot, 1991), que han mostrado ser útiles en la estimación de LAI en distintos ecosistemas.

Se extrajeron los valores de reflectividad de las bandas provenientes del sensor ATM para calcular los índices de vegetación seleccionados en este estudio. A continuación, se realizó un análisis de correlación entre los índices obtenidos y los valores de LAI observados, dejando una muestra fuera en cada relación con el fin de contrastar la robustez de la correlación. El índice que ofreció mayor correlación fue seleccionado para estimar el LAI a partir de los datos contenidos en la imagen ATM. La ecuación derivada en este proceso se aplicó tanto a la imagen TM como MODIS para obtener el LAI en diferentes resoluciones espaciales.

Estimación de la biomasa del dosel vegetal

Como principio general, el contenido la materia seca del dosel se puede calcular de la siguiente forma (Salas e Infante, 2006):

Materia seca del dosel = f (materia seca de la hoja x LAI)

Siguiendo esta premisa la estimación del contenido de materia seca foliar de las especies muestreadas se obtiene a partir del Índice Normalizado, mientras que la estimación del LAI se pretende efectuar a partir del índice de banda ancha que ofrezca mejores estimaciones.

RESULTADOS

Datos de campo

En la tabla 4 se presentan las diferentes mediciones realizadas en las parcelas utilizadas en el trabajo. Las observaciones P1 a P6 (13 casos) se encuentran situadas en la zona 1. Las observaciones M1, M2, H1 y H2 se corresponden con las zonas 2 a 5 respectivamente.

Por su parte, en la estimación de LAI se han utilizado únicamente los datos muestreados en la zona 1. Los datos de LAI muestreados en las zonas 2 a 5 se obtuvieron a partir de un TRAC y en el momento actual no se han procesado los datos correspondientes por tanto, no han podido ser utilizados en el trabajo.

Tabla 4. Datos muestreados en campo: Cw, Cm, LAI.

Identificador	Cm	Cw	LAI
P3A3	0,0136	0,0456	1,98
P3A1	0,0184	0,1275	1,78
P3A4	0,0184	0,0789	2,18
P5A2	0,0102	0,0291	0,74
P5A3	0,0104	0,0307	1,33
P2A14	0,0191	0,1123	1,29
P2A1	0,0031	0,0400	1,73
P1A4	0,0131	0,0505	1,82
P1A9	0,0141	0,0474	2
P1A8	0,0119	0,0331	1,92
P1A15	0,0110	0,0227	1,94
P6A6	0,0101	0,0286	1,88
P6A1	0,0125	0,0679	1,57
M1A	0,0325	0,0269	
M1B	0,0325	0,0269	
M1C	0,0325	0,0269	
M2A	0,0286	0,0307	
M2B	0,0310	0,0345	
M2C	0,0242	0,0294	
H1A	0,0325	0,0342	
H1B	0,0267	0,0255	
H1C	0,0394	0,0338	
H2A	0,0309	0,0355	
H2B	0,0331	0,0357	
H2C	0,0320	0,0356	

Estimación del contenido de materia seca a partir de Índices Normalizados

Los espectros derivados de las simulaciones efectuadas con el RTM PROSPECT nos permitieron conocer la región del espectro más afectada por las variaciones en el contenido de materia seca y de este modo se propuso un índice normalizado de contenido de materia seca que fue utilizado para la estimación:

$$INCMS = (2305 - 1495) / (2305 + 1495) \quad (5)$$

Como se observa las bandas seleccionadas se sitúan en la región del SWIR, como ya se había mostrado en Romero et al. (2007).

Una vez definido ese índice se calibró una ecuación empírica que se aplicó a los distintos sensores (6):

$$Cm = -0,042 * INCMS + 0,011 \quad (6)$$

La calidad de las estimaciones efectuadas con los distintos sensores se llevó a cabo comparando los valores estimados con la desviación típica que muestran los datos recolectados en campo, asumiendo que el error en la estimación debería ser inferior a la variabilidad detectada en el muestreo. De este modo, la desviación de Cm en las muestras alcanza un valor de 0.009 g/cm². Este valor marcará el umbral para dar una estimación por válida, según se comentó en el apartado de metodología.

Los resultados varían en función del sensor utilizado. Las estimaciones de Cm obtenidas empleando los datos del sensor ATM obtuvieron un ΔR de 20.03% (tabla 5y Figura 2). De las 17 parcelas utilizadas en el análisis el 88,23% ofrecen un residual absoluto inferior a 0.009 g/cm^2 , si bien las parcelas con estimaciones más deficientes no superaron el valor de dos desviaciones típicas.

Por su parte, el sensor TM ofrece un ΔR de 40.65%; de las 17 parcelas consideradas en el muestreo, tan solo el 41% ofrecen un residual inferior al esperado, mostrando solo dos observaciones (un 11% de las estimaciones) valores que superan el umbral de 0.019 g/cm^2 , es decir, el doble de la variabilidad esperada (tabla 5 y Figura 2).

Finalmente, con el sensor MODIS se obtuvo un ΔR de 36,5%, ofreciendo el 40% de las 5 parcelas resultantes a esta resolución residuales absolutos por debajo de lo aceptable. Las parcelas con estimaciones más deficientes no superaron el valor de dos desviaciones típicas (tabla 5 y Figura 2).

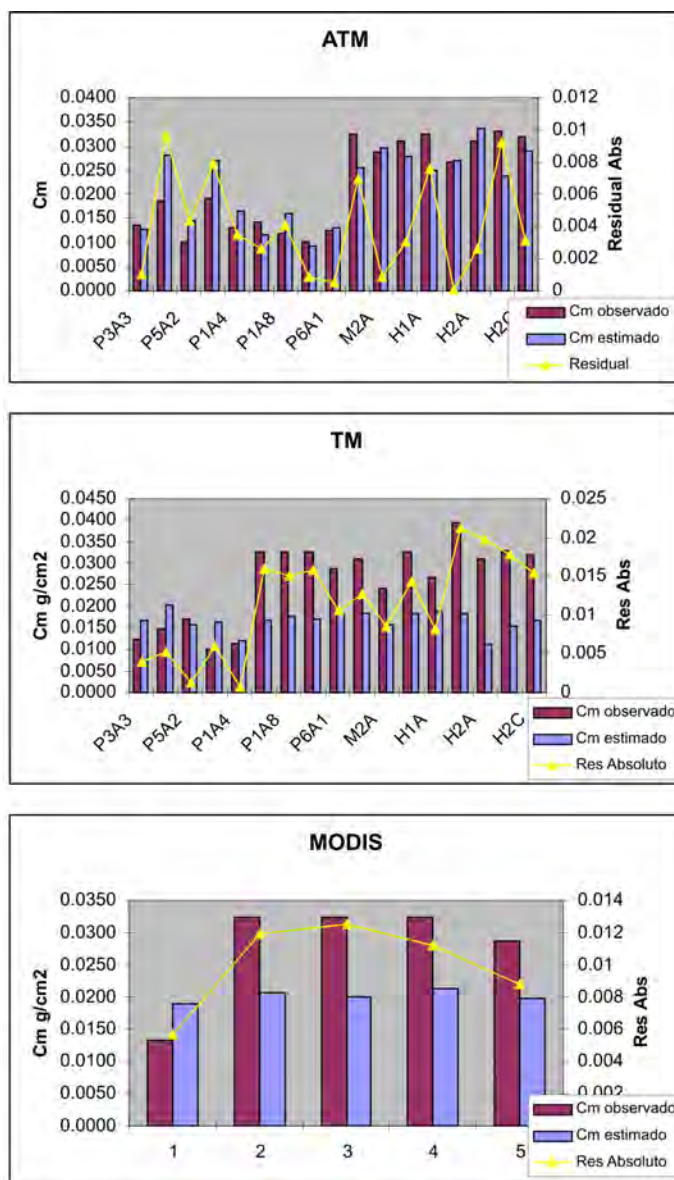


Figura 2. Cm observado, estimado y Residual Absoluto de la estimación para los sensores ATM, TM y MODIS

Tabla 5. Porcentaje de error medio cuadrático ΔR y número de parcelas con residuales absolutos $< 1 Dt$ (0.009 g/cm^2) o $> 2 Dt$. (0.019 g/cm^2).

SENSOR	R<0.009 g/cm ²		R>0.009 g/cm ²		ΔR
	Nº	%	Nº	%	
ATM	15	88.25	0	0	20.03
TM	7	41.17	2	11.76	40.65
MODIS	2	40	0	0	36.5

Estimación de LAI

Una vez efectuados los análisis de correlación entre los índices seleccionados según la bibliografía y los valores observados de LAI en campo se observó que no existía una correlación lo suficientemente estrecha como para abordar la estimación de LAI. Los resultados del análisis de correlación con los índices que ofrecían mejores estimaciones se presentan en la tabla 6, con un nivel de significancia del 0.05.

Tabla 6. Resultados del análisis de correlación de índices de vegetación y LAI.

	NDVI	WDVI	PVI	TSAVI
Coef. de Pearson	0,261	0,307	0,307	0,237

Debido a lo deficiente de las estimaciones obtenidas a partir de los datos disponibles, en el momento de efectuar este trabajo, no se puede abordar con ciertas garantías la estimación de este parámetro biofísico.

Estimación de la biomasa del dosel vegetal

Tal como se describió en el apartado de métodos, la estimación de la biomasa del dosel vegetal, requiere disponer de mediciones de materia seca foliar y LAI, en nuestro estudio y debido a la falta de consistencia en las estimaciones de LAI, no ha sido posible efectuar una estimación fiable de la biomasa del dosel vegetal.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este estudio se ha avanzado en la estimación de la materia seca foliar a partir de la propuesta de un índice normalizado. Dicho índice se ha obtenido a partir del análisis de las longitudes de onda más afectadas por la variación de esta variable.

Respecto a la estimación de contenido de materia seca foliar a partir de sensores de distintas resoluciones espaciales los resultados obtenidos están próximos a lo esperado. En este sentido, el sensor ATM con mayor resolución espacial ha sido el más preciso ofreciendo residuales promedio inferiores al 20%. Por su parte, el sensor TM con características espectrales similares al ATM pero distinta resolución espacial (2 m frente a 30 m), aporta resultados más alejados de lo esperado, con residuales promedio de 40,65%. En este caso, la tarea de generalización en la información muestreada que supone promediar las mediciones efectuadas en individuos aislados ha supuesto una pérdida en la calidad de la estimación. Por su parte, el sensor MODIS, con una resolución espacial menor (500m) muestra resultados similares a los del TM, los residuales promedio son algo menores 36,5%. Estos resultados indican que la heterogeneidad que muestra la zona respecto al contenido de materia seca foliar no es recogida de forma adecuada por los sensores de menor resolución espacial. En investigaciones futuras se intentará resolver esta situación a partir de la utilización de técnicas de escalado más avanzadas.

Por otro lado, como se ha comentado en distintos apartados del proyecto la falta de disponibilidad de datos derivados de alguno de los sensores del vuelo ha impedido alcanzar los resultados esperados, inicialmente. En

este sentido, la falta de los datos suministrados por el sensor LIDAR ha imposibilitado la estimación del LAI, un paso previo a la estimación de la biomasa del dosel vegetal. No obstante, se ha intentado estimar esta variable a partir del sensor ATM, utilizándose los índices de vegetación recomendados en la bibliografía. Como ya se apuntó en el apartado de resultados correspondiente, esa información no ha permitido estimar con cierta garantía los valores de LAI. En el área de estudio el LAI ofrece una variabilidad baja con valores que oscilan de 0.74 a 2.18 y tal vez esa escasa variación entre parcelas ha impedido efectuar ajustes elevados utilizando índices de vegetación. A su vez, el número de casos para realizar el ajuste fue reducido de 25 a 13 (debido a la falta de datos para las zonas 2 a 5). Varios autores recomiendan una cantidad de 10 a 20 observaciones por cada variable independiente en el modelo, de lo contrario la regresión lineal podría ser muy inestable y podrían ocurrir problemas de sobre ajuste (overfitting) del modelo de regresión (Serrano et al. 2002).

Por otro lado, en algunos estudios se ha detectado una escasa variabilidad en mediciones de LAI efectuadas en pinares frente a otro tipo de especies como el robledal debido al denominado efecto clumping (Riaño et al., 2004), probablemente este problema esté afectando también a las muestras empleadas en este estudio. En este aspecto del proyecto se continuará trabajando en el futuro cuando tanto las imágenes LIDAR como las imágenes hiperspectrales puedan ser utilizadas en la estimación de LAI. Los estudios en los que se ha utilizado el sensor LIDAR se ha alcanzado mayor precisión en la estimación (Riaño et al. 2003).

Las estimaciones podrán ser mejoradas cuando se dispongan de los datos del sensor EAGLE y HAWK por su alta resolución espacial y espectral y datos LIDAR. Por otro lado, se explorará también el uso de RTM geométricos o mixtos como GORT o Geosailh (Huemmrich 2001) ya que las asunciones de dichos modelos para modelar la reflectividad concuerdan mas con cubiertas forestales heterogéneas que los modelos de turbidez. Otras técnicas de inversión basadas en Look Up Table también serán exploradas en proyectos futuros.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación del proyecto “*Estimación de parámetros forestales a partir de teledetección*” CCG06-UAH/AMB-0755. Asimismo, queremos agradecer a la Universidad de Salford la cesión de las imágenes NERC utilizadas en este trabajo. Finalmente, nuestra gratitud a las personas que han colaborado en el desarrollo del trabajo de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexandrian, D., Esnault, F. y Calabri, G. (1992): Incendios forestales en el área Mediterránea. *Revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, 50:197.
- Baret, F. y Guyot, G. (1991): Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*. 35: 161-173.
- Carlson, J. y Burgan, R. (2003): Review of users' needs in operational fire danger estimation. The Oklahoma example. *International Journal of Remote Sensing*. 24 (8): 1601-1620.
- Chávez, P. (1996): Image-based atmospheric corrections. Revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62 (9): 1025-1036.
- Chen, J. (1996): Evaluation of vegetation indices and a modified simple ratio for boreal applications. *Can. Journal of Remote Sensing*. 22: 229-242.

- Chuvieco, E., Riaño D., Aguado, I y Cocero, D. (2002): Estimation of fuel moisture content from multitemporal analysis of Landsat Thematic Mapper reflectance data: applications in fire danger assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 23(11): 2145-2162.
- Clevers, J. (1991): Application of the WDVI in estimating LAI at the generative stage of barley. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sensing*, 46: 37-47.
- Finney, M. (1998): *FARSITE: Fire Area Simulator - Model development and evaluation*. USDA Forest Service: 51.
- Fraser, R. y LI, Z. (2002): Estimating fire-related parameters in boreal forest using SPOT VEGETATION. *Remote Sensing of Environment*, 82: 95-110.
- French, N., Kasischke, E., Stocks, B., Mudd, J., Martell, D. y Lee, B. (2000): Carbon release from fires in the North American boreal forest. En: E.S. Kasischke y B.J. Stocks (Eds), *Fire, Climate change and carbon cycling in the boreal forest. Ecological Studies Series*. Springer Verlag, Nueva York:, pp: 377-388.
- Goel, N. y Qi, W. (1994): Influences of canopy architecture on relationships between various vegetation indices and LAI and FPAR: A computer simulation. *Remote Sensing.Rev.* 10: 309-347.
- Gong, P., Pu, R., Biging, G. y Larrieu, M. (2003): Estimation of Forest Leaf Area Index Using Vegetation Indices Derived From Hyperion Hyperspectral Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(6).
- Huete, A. (1988): A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25: 295-309.
- Huemmrich, K. F. (2001): The GeoSail model: a simple addition to the SAIL model to describe discontinuous canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 75: 423-431.
- Jacquemoud, S. y Baret, F. (1990): Propect: a model of leaf optical properties. *Remote Sensing of Environment*, 34: 75-91.
- Justice, C. y Giglio, L. (2002): The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 83 (1-2): 244–262.
- Keane, R. y Burgan, R. (2001): Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: Integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. *International Journal of Wildland FIRE*, 10 (3-4): 301-319.
- Kötz, B., Schaepman, M., Morsdorf, F., Bowyer, P., Itten, K. y Allgower, B. (2004): Radiative transfer modeling within a heterogeneous canopy for estimation of forest fire properties. *Remote Sensing of Environment*, 92: 332-344.
- Lu, D. (2006): Aboveground biomass estimation using Landsat TM data in theBrazilian Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (12): 2509-2525.
- Moorthy, I., Miller, J., Noland., T, Nielsen, U. and Zarco, P. (2003): Chlorophyll Content Estimation of Boreal Conifers using Hyperspectral Remote Sensing. *IEEE*, 2569-2570.
- Privette, J., Emery, W. y Schimel, D. (1996): Inversion of a Vegetation Reflectance Model with NOAA AVHRR Data. *Remote Sensing of Environment*, 58: 187-200.

- Riaño, D., Meier, E., Allgöwer, B., Chuvieco, E. y Ustin, S. (2003): Modeling airborne laser scanning data for the spatial generation of critical forest parameters in fire behavior modeling. *Remote Sensing of Environment*, 86: 177-186.
- Riaño, D., Valladares F., Condes, S. y Chuvieco, E. (2004): Estimation of leaf area index and covered ground from airborne laser scanner (Lidar) in two contrasting forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124: 269-275.
- Riaño, D., Vaughan, P., Chuvieco, E., Zarco, P. y Ustin, S. (2005): Estimation of Fuel Moisture Content by Inversion of Radiative Transfer Models to Simulate Equivalent Water Thickness and Dry Matter Content: Analysis at Leaf and Canopy Level. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(4): 819-826.
- Running, S. y Nemani, R. (1989): Mapping regional forest evapotranspiration and photosynthesis by coupling satellite data with ecosystem simulation. *Ecology*, 70 (4): 1090-1101.
- Roujean, J. y Breon, E. (1995): Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, 51: 375-384.
- Romero, A., Aguado, I., Chuvieco, E. y Yebra, M. (2007): Evaluation of dry foliage matter through normalised indexes and inversión of reflectivity models. *Proceedings of the 6th International Workshop of the Earsel Special interest group on forest fires*. Thessaloniki, pp. 87-90.
- Salas, J. e Infante, A. (2006): Producción Primaria Neta área en algunos ecosistemas y estimaciones de biomasa en plantaciones forestales. *Revista Forestal Latinoamericana*, 40: 47-70.
- Schlegel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. (2000): *Medición de la capacidad de captura de Carbono en Bosques de Chile y Promoción en el Mercado Mundial. Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal*. Universidad Austral De Chile. Proyecto FONDEF D98I1076.
- Serrano, L., Ustin S., Roberts, D., Gamon J. y Peñuelas, J. (2000): Deriving Water Content of Chaparral Vegetation from AVIRIS Data. *Remote Sensing of Environment*, 74: 570-581.
- Thenkabaila, P., Enclona, E., Ashton, M., Legg, CH. y Jean de Dieu. (2004): Hyperion, IKONOS, ALI, and ETM+ sensors in the study of African rainforests. *Remote Sensing of Environment*, 90: 23-43.
- Van Wagner, C. (1967): Seasonal variation in moisture content of Eastern Canadian tree foliage and the possible effect on crown fires. *Forestry Branch*, 15.
- Verstraete, M., Pinty, B. y Myneni, R. (1994): Potential and limitations of information extraction on the terrestrial biosphere from satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 58: 201-214.
- Vermote, E. y Vermeulen A. (1999): *Atmospheric correction algorithm: Spectral Reflectances (MOD09)*. NASA, 109 pp.
- Yebra, M., Chuvieco, E. y Riaño, D. (2008): Estimation of live fuel moisture content from MODIS images for fire risk assessment. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 148, Issue 4.

- Zarco, P. y Ustin, S. (2001): Modeling canopy water content for carbon estimates from MODIS data and Land EOS. Validation sites. *IGGARS Meeting Sidney*, Australia.
- Zarco, P., Rueda, A. y Ustin, S. (2003): Water content estimation in vegetation with MODIS reflectance data and model inversion methods. *Remote Sensing of Environment*, 85: 109-124.
- Zarco, P., Miller, J., Harron, J., Hu, Nolandt, B., Goel, N., Mohammedg. y Sampson, P. (2004): Needle chlorophyll content estimation through model inversion using hyperspectral data from boreal conifer forest canopies. *Remote Sensing of Environment*, 89: 189-199.
- Zheng, D., Rademacher, J., Chen, J., Crow, T., Bresee, M., Le Moine, J. y Ryu, S. (2004): Estimating above-ground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA. *Remote Sensing of Environment*, 93: 402–411.

Alonso-Benito, A.; Hernández-Leal, P. A.; González-Calvo, A.; Arbelo, M. y Barreto, A. (2008): Comparación de diferentes técnicas para la estimación de áreas quemadas en un entorno insular. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 462-473. ISBN: 978-84-96971-53-0.

COMPARACIÓN DE DIFERENTES TÉCNICAS PARA LA ESTIMACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS EN UN ENTORNO INSULAR

Alonso-Benito, A.; Hernández-Leal, P. A.; González-Calvo, A.; Arbelo, M. y Barreto, A.

Grupo de Observación de la Tierra y la Atmosfera (GOTA). Avda. Astrofísico Francisco Sánchez s/n. Facultad de Físicas. Universidad de la Laguna. S/C de Tenerife. Islas Canarias. 38202 (España). e-mail: asaloben@gmail.com

RESÚMEN

En el presente trabajo se realiza un análisis comparativo de algunos índices espectrales propuestos para la cartografía de áreas quemadas. Se trata de comprobar la fortaleza operativa de los mismos en imágenes del sensor ASTER a bordo de la plataforma TERRA. Para ello se ha utilizado como zona test la isla de Gran Canaria (Islas Canarias-España) afectada por un gran incendio forestal en el verano de 2007. Los índices analizados han sido SVI, NDVI, TVI, y SAVI.

Se ha utilizado el algoritmo SVM (Support Vector Machines), para observar la capacidad de cada índice en la discriminación espectral de las zonas quemadas respecto a las no quemadas. El resultado se ha comparado con el perímetro obtenido mediante cartografiado de la superficie afectada con imágenes SPOT.

Palabras Clave: Área quemada, índices espectrales, SVM, ASTER, Isla de Gran Canaria.

ABSTRACT

The aim of this paper is to show the results of a comparative analysis of some of the most commonly used spectral indexes in burnt land mapping applications. The objective is to verify its operative consistency with ASTER data, through out one test. The analyzed indexes were the SVI, NDVI, TVI and SAVI.

This test has been focused on establishing the discrimination ability of each index between the recently burned zones and other land covers using a post fire image. We have used supervised classification SVM (Support Vector Machines) algorithm. The results have been compared with the burnt area perimeter provided by a SPOT multitemporal image study.

Key Words: Burned area, spectral indexes, SVM, ASTER, Gran Canaria Island.

INTRODUCCIÓN

La utilización de datos de satélite permite realizar una evaluación rápida de la zona afectada por un incendio forestal así como del grado de incidencia dentro de la misma. Durante el verano de 2007, se produjeron en las Islas Canarias dos grandes incendios forestales que afectaron a las islas de Tenerife y Gran Canaria. El satélite SPOT evaluó en algo más de 30.000 ha la superficie quemada en los incendios de finales de julio en Tenerife y Gran Canaria, mientras que con el sensor Terra-MODIS se obtuvieron 32.500 ha, según datos del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. De acuerdo a estos, y teniendo en cuenta el Mapa Forestal de España realizado por el Banco de Datos de la Biodiversidad (MMA), en el incendio de la isla de Gran Canaria, se quemaron (según la evaluación hecha a partir de las imágenes del satélite SPOT), 7.733,16 ha de superficie arbolada (pinar canario, *Pinus canariensis* L., en su mayoría), 7.284,27 ha no arbolada, 320,02 ha de cultivos y 5,55 ha de terrenos improductivos (ver Fig.1). Analizando las imágenes del satélite MODIS, el incendio de Gran Canaria afectó a 15.737,50 ha, datos elaborados por el INIA, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias-MAPYA, AOL noticias & agencia EFE (2007).

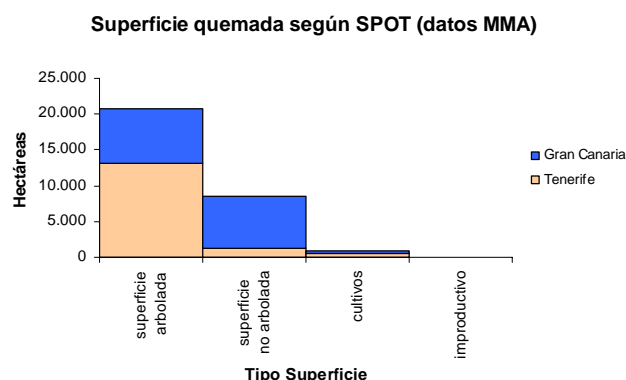


Figura 1. Gráfico de la superficie afectada por los incendios en Gran Canaria y Tenerife en verano de 2007. Datos del MMA. Elaboración propia.

Muchas han sido las aportaciones realizadas por diversos autores acerca de la idoneidad de diferentes sensores de satélites en el cartografiado de áreas quemadas. Muestra de ello son los trabajos basados en los datos NOAA/AVHRR, Pu R. et al (2004); AVHRR y MODIS, Chuvieco E. et al (2005); SAC-C/MMRS, García et al. (2004); AVIRIS y MODIS, Ononye A. et al. (2007); SPOT VEGETATION, Fraser R.H. et al. (2000); cartografiado de modelos de combustibles (muy necesarios para obtener buenos productos finales) con HYPERION, Yoon Y. et al. (2007) o utilización de datos del sensor ASTER, Nikolakopoulus K. G. (2003), entre otros muchos trabajos.

La mayor o menor precisión de las diferentes estimaciones, dependerá del tipo de imagen y del método usado para analizar la zona afectada. Entre las muchas posibilidades existentes, nos vamos a centrar en aquellos trabajos que utilizan índices espectrales, es decir, los basados en la combinación de dos o más bandas que se usan para realzar de forma espectral aquellas zonas que nos interesan.

ÁREA DE ESTUDIO

El área objeto del presente trabajo se encuentra en el sur de la isla de Gran Canaria ($27^{\circ}57'31''N$, $15^{\circ}35'33''W$). Los municipios afectados fueron La Aldea de San Nicolás, Mogán, Tejeda y San Bartolomé de Tirajana. La mayor parte de la vegetación afectada fue pinar canario (*Pinus canariensis* L.) de plantación y natural, seguido de matorral de cumbre. Las zonas más bajas son típicas del cardonal-tabaibal. El municipio con mayor superficie afectada fue Mogán con un 28,4% y Tejeda con un 26,8%.



Figura 2. Imagen del año 2006 tomada de Google Earth donde podemos ver la Isla de Gran Canaria y un detalle de la zona afectada por el incendio del verano de 2007.

DATOS Y METODOLOGÍA

El sensor ASTER tiene catorce canales distribuidos en tres subsistemas independientes que registran datos de las regiones del espectro correspondiente al visible e infrarrojo cercano (VNIR), infrarrojo medio o de onda corta (SWIR) e infrarrojo termal (TIR). El VNIR posee 3 bandas (0.52 - 0.86 μm), 6 bandas en SWIR (1.6 - 2.43 μm) y 5 bandas en TIR (8.125 - 11.65 μm), siendo la resolución espacial de las tres primeras bandas del VNIR (1, 2 y 3) de 15 metros; 30 metros para las bandas del SWIR (4, 5, 6, 7, 8 y 9); y 90 metros para las bandas del TIR (10, 11, 12, 13 y 14).

Con el fin de evaluar los índices propuestos se ha usado una imagen ASTER Level 1B del 8 de marzo de 2008 (AST_L1B.0803151153130804090501). Los cuatro índices sometidos a análisis utilizan las bandas del VNIR.

Al tratarse el presente trabajo de una primera aproximación al cartografiado de áreas quemadas en unas islas con unas características orográficas realmente complejas como las islas Canarias, no se ha tenido en cuenta este factor, para realizar una corrección topográfica y geométrica, en futuros trabajos se atenderá de forma especial a esta corrección. Por su parte, la aplicación de diferentes técnicas de limpieza y detección de cobertura nubosa sobre la escena mencionada dio como resultado un 100% de datos válidos sobre la zona de interés.

Debe fijarse un criterio objetivo que nos ayude a decir cuál de los cuatro índices estudiados, es el que mejor se adapta a la realidad, para lo cual y con ayuda de la imagen post-incendio que se tiene de la zona afectada, se va a analizar el campo espacio-espectro, Gómez Nieto et al. (2006), lo que significa estudiar la capacidad de cada índice de diferenciar entre zona quemada y no quemada dentro de una misma imagen, sin considerar un análisis multitemporal por no disponer de una imagen pre-incendio libre de nubes.

Las bandas VNIR y SWIR han sido corregidas para obtener reflectancia en lo alto de la atmósfera (R_{TOA}), tal como se describe en V.V.A.A. (2005) (2007); Alistair (2007), siguiendo las siguientes ecuaciones:

$$L_{rad} = (DN - 1) \cdot Unit\ Conversion\ Coefficient \quad \text{Ecuación 1}$$

$$R_{TOA} = \frac{(\pi \cdot L_{rad} \cdot d^2)}{(ESUN_i \cdot \cos(z))} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde L_{rad} es la radiancia, $ESUN_i$ es la media solar exoatmosférica para la irradiancia de cada banda, z es el ángulo zenital solar (calculado como $90 - \text{ángulo de elevación solar}$), y d es la distancia astronómica entre el sol y la tierra en el momento de la toma de la imagen, calculada mediante la ecuación:

$$d = (1 - 0,01672 \cdot \cos(\text{RADIANS}(0,9856 \cdot (\text{Julian Day} - 4)))) \quad \text{Ecuación 3}$$

ÍNDICES UTILIZADOS

El índice simple de vegetación (*Simple Vegetation Index*, SVI) resulta del cociente entre las bandas NIR y R, Nikolakopoulos K. G. (2003). Es útil para discernir entre zonas con vegetación y sin vegetación, siendo uno de los ratios entre bandas más usados.

$$SVI = \frac{NIR}{R} \quad \text{Ecuación 4}$$

Otro de los índices más usados en el seguimiento de la vegetación y por ende en estudios post-incendio, ha sido el índice de vegetación diferencia normalizada (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) definido por primera vez por, Rouse et al. (1973); Tucker C.J. (1979) y cuya simplicidad y adecuación a diferentes condiciones de contorno ha sido ampliamente referenciada.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad \text{Ecuación 5}$$

El índice de vegetación transformada (*Transformed Vegetation Index*, TVI) resulta de la raíz cuadrada del cociente entre las bandas NIR y R, Deering et al. (1975):

$$T V I = \sqrt{N D V I + 0,5} = \sqrt{\frac{N I R - R}{N I R + R} + 0,5} \quad \text{Ecuación 6}$$

Existen otros factores como el sistema interno del sensor, la cubierta de suelo o la orografía entre otros, que influyen en los índices espectrales antes citados. Algunos autores Nikolakopoulus K. G. (2003) y Huete A. R. (1989) han introducido el *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), con el objetivo de evitar la influencia de los diferentes suelos que puedan existir. La formula aplicada es la siguiente:

$$S A V I = \frac{N I R - R}{N I R + R + 0,5} \cdot 1,5 \quad \text{Ecuación 7}$$

APLICACIÓN DEL ALGORITMO SVM

El algoritmo SVM (*Support Vector Machines*) o máquinas de soporte vectorial, se encuadra dentro de la clasificación supervisada, Vapnik (1995). Pertenece a la familia de los clasificadores lineales puesto que inducen separadores lineales o hiperplanos en espacios de características de muy alta dimensionalidad (introducidos por funciones núcleo o kernel) con un sesgo inductivo muy particular (maximización del margen).

Existen diferentes funciones kernel, Mercier G. et al. (2003), de tipo local o global. Los *kernels locales* sólo consideran los datos más próximos, en general se basan en funciones de distancia. Algunos ejemplos de kernel locales son:

KMOD

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(\frac{1}{1 + \|x_i - x_j\|^2}\right) - 1 \quad \text{Ecuación 8}$$

RADIAL BASIS FUNCTION (RBF)

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\gamma \cdot \|x_i - x_j\|^2\right), \gamma > 0 \quad \text{Ecuación 9}$$

INVERSE MULTIQUADRIC

$$K(x_i, x_j) = \frac{1}{\sqrt{\left(\|x_i - x_j\|^2 + 1\right)}} \quad \text{Ecuación 10}$$

Los *global kernels*, están basados en puntos, de manera que muestras más alejadas tienen aún influencia en el valor del kernel.

LINEAL

$$K(x_i, x_j) = x_i \cdot x_j \quad \text{Ecuación 11}$$

POLINOMIALES

$$K(x_i, x_j) = (x_i \cdot x_j + 1)^p \quad \text{Ecuación 12}$$

SIGMOIDE

$$K(x_i, x_j) = \tanh(x_i \cdot x_j + 1) \quad \text{Ecuación 13}$$

Tras analizar todos los *kernels* anteriores, se ha optado por utilizar la ecuación RBF. Se ha llegado a esta conclusión, tras estudiar los coeficientes Kappa y los porcentajes de acierto obtenidos con cada *kernel*, observando que en el grupo de los locales se lograban valores superiores al 91% con las ecuaciones RBF y Sigmoide, mientras que los resultados eran algo peores con los *kernels* globales, que se desecharon por que en ellos los puntos alejados tienen gran influencia, y la zona estudiada presenta un límite muy difuso entre suelo quemado y no quemado (ver figura 3 y posteriores).

En este kernel, el factor γ es el parámetro que tiene influencia en la clasificación resultante. Según Huang, C. et al. (2002), puede tomar valores de 1 a 20, aunque con valores mayores a 7,5 no se consiguen mejoras significativas. Para el presente trabajo se ha tomado $\gamma = 2,5$.

Se analiza la idoneidad de cada índice para delimitar el área quemada del resto de la isla no quemada. La zona quemada presenta una superficie cartografiada utilizando datos SPOT de 15.358,32 ha, de la cual se ha elegido las siguientes áreas para la posterior clasificación.

La categoría de agua se ha elegido en base a las presas existentes en la zona sur de la isla. La categoría agrícola, engloba tanto a zonas agrícolas puras, como a zonas forestales y artificiales, analizando diferentes posibilidades, se decidió agrupar a lo no quemado dentro de esta categoría. En el área quemada se ha considerado el perímetro que se tiene de referencia. En todas las categorías, se han escogido puntos del interior de las zonas determinadas para evitar zonas confusas en el borde.

En la tabla 2, se puede ver el número píxeles elegidos como zona de entrenamiento para el algoritmo SVM, y la superficie que representan en hectáreas.

Tabla 1. Superficies por categorías y elegidas para la clasificación. Elaboración propia.

Categoría	Superficie Elegida (Ha)	Número Píxeles
Quemado	142,38	6.328
Agua	4,635	206
Agrícola	94,612	4.205

A estas áreas de entrenamiento se les han aplicado los diferentes kernel del algoritmo SVM, siendo el RBF ya comentado el que mejores resultados ha dado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la composición ASTER en falso color de la figura 3, en la que se ha superpuesto el contorno calculado mediante datos SPOT, podemos observar que la zona quemada no se distingue del todo bien de las áreas no afectadas. Este hecho tiene una clara explicación en el tipo de vegetación existente en la zona sur de la isla. De acuerdo al Mapa de Vegetación de Canarias (<http://visor.grafcan.com/visor/#>), en esta zona, existe un predominio del tabaibal amargo y jaral o jaguarzal grancanario, matorrales de sustitución de la vegetación potencial compuesta por cardonal (*Aeonio percarnei-Euphorbio canariensis sigmetum*). Por la zona norte, si se distinguen las cubiertas forestales, al tratarse de masas de pinar canario de media y alta densidad. Esto hace que el perímetro sea más difícil de delimitar por gran parte de la zona quemada.

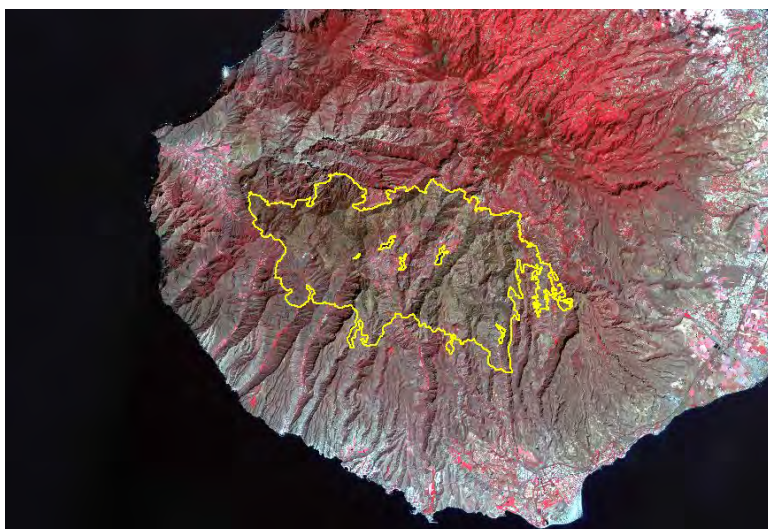


Figura 3. Composición en falso color RGB-321 para la imagen ASTER de la zona afectada de la Isla de Gran Canaria (15x15m). Límite del incendio (línea amarilla) obtenido de imágenes SPOT.

Aplicando SVM a cada índice espectral estudiado, se han obtenido las siguientes imágenes.



Figura 4. Clasificación SVM sobre imagen falso color RGB. En color marrón la zona quemada y en color verde la zona no quemada.



Figura 5. Clasificación SVM para el índice espectral NDVI. Significado de colores igual que anterior.

Analizando la imagen RGB de la zona quemada y siempre respecto al contorno obtenido de la imagen SPOT (no se ha podido disponer del perímetro del incendio que tiene el Cabildo de Gran Canaria), se obtiene un porcentaje de precisión de 92,1% y un coeficiente Kappa de 0,84.



Figura 5. Clasificación SVM para el índice espectral SAVI. Significado de colores igual que anterior.



Figura 6. Clasificación SVM para el índice espectral SVI. Significado de colores igual que anterior.



Figura 7. Clasificación SVM para el índice espectral TVI. Significado de colores igual que anterior.

Tabla 2. Matriz de confusión para clasificación SVM sobre imagen ASTER en falso color RGB.

	Quemado	Agua	No quemado	Total
Quemado	5.997	3	520	6.520
Agua	1	203	0	204
No quemado	330	0	3.685	4.015
Total	6.328	206	4.205	10.739

Tabla 3. Porcentajes de acierto para cada clase considera sobre imagen ASTER en falso color RGB.

	Quemado	Agua	No quemado	Total
Quemado	94,77	1,46	12,37	60,71
Agua	0,02	98,54	0,00	1,90
No quemado	5,21	0,00	87,63	37,39
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabla 4. Errores de comisión y omisión para cada clase considerada sobre imagen ASTER en falso color RGB.

	Comisión	Omisión
Quemado	8,02	5,23
Agua	0,49	1,46
No quemado	8,22	12,37

Tabla 5. Matrices de confusión para los índices espectrales estudiados y clasificados mediante el algoritmo SVM.

	NDVI				SAVI			
	Quemado	Agua	No quemado	Total	Quemado	Agua	No quemado	Total
Quemado	6.028	20	1.142	7.190	5.981	35	1.165	7.181
Agua	9	186	0	195	9	171	0	180
No quemado	291	0	3.063	3.354	338	0	3.040	3.378
Total	6.328	206	4.205	10.739	6.328	206	4.205	10.739

	SVI				TVI			
	Quemado	Agua	No quemado	Total	Quemado	Agua	No quemado	Total
Quemado	5.988	20	1.090	7.098	6.022	20	1.133	7.175
Agua	9	186	0	195	9	186	0	195
No quemado	331	0	3.115	3.446	297	0	3.072	3.369
Total	6.328	206	4.205	10.739	6.328	206	4.205	10.739

Tabla 6. Porcentajes de acierto para los índices espectrales estudiados y clasificados mediante el algoritmo SVM.

	NDVI				SAVI			
	Quemado	Agua	No quemado	Total	Quemado	Agua	No quemado	Total
Quemado	95,26	9,71	27,16	66,95	94,52	16,99	27,71	66,87
Agua	0,14	90,29	0,00	1,82	0,14	83,01	0,00	1,68
No quemado	4,60	0,00	72,84	31,23	5,34	0,00	72,29	31,46
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,01

	SVI				TVI			
	Quemado	Agua	No quemado	Total	Quemado	Agua	No quemado	Total
Quemado	94,63	9,71	25,52	66,10	95,16	9,71	26,94	66,81
Agua	0,14	90,29	0,00	1,82	0,14	90,29	0,00	1,82
No quemado	5,23	0,00	74,08	32,09	4,69	0,00	73,06	31,37
Total	100,00	100,00	99,60	100,01	99,99	100,00	100,00	100,00

La clasificación RGB proporciona una exactitud del 92,05% y un coeficiente de kappa de 0,8395. Netamente superior a los obtenidos de los diferentes índices espectrales, como puede verse en la siguiente tabla.

Tabla 7. Porcentajes de exactitud y coeficiente Kappa para la imagen falso color RGB y los índices espectrales analizados.

	Exactitud	Coficiente Kappa
RGB	92,05%	0,8385
NDVI	86,39%	0,7180
SAVI	85,59%	0,7014
SVI	86,50%	0,7213
TVI	86,41%	0,7188

De los índices estudiados, el que aporta un mejor resultado en su aplicación a los datos ASTER en la categorización de píxeles afectados por el incendio, es el más sencillo de todos, esto es el SVI (Simple Vegetation Index). El NDVI es el que presenta menor de error de omisión y el SVI el que menor error de comisión para clasificar la zona quemada. En términos estadísticos, y para este tipo de discriminación es el SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) en el que ofrece un peor comportamiento.

Tabla 8. Errores de comisión y omisión para los índices estudiados.

	NDVI		SAVI	
	Comisión	Omisión	Comisión	Omisión
Quemado	16,16	4,74	16,71	5,48
Agua	4,62	9,71	5,00	16,99
No quemado	8,68	27,16	10,01	27,71

	SVI		TVI	
	Comisión	Omisión	Comisión	Omisión
Quemado	15,64	5,37	16,07	4,84
Agua	4,62	9,71	4,62	9,71
No quemado	9,61	25,92	8,82	26,94

De acuerdo a Chuvieco (2002), podemos obtener a partir de las tablas anteriores, la fiabilidad global del cartografiado del área quemada a partir de la imagen en falso color RGB de la isla. La fiabilidad global \hat{F} puede obtenerse como:

$$\hat{F} = \frac{\sum_{i=1,n} x_{ii}}{\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,n} x_{ij}} \quad \text{Ecuación 14}$$

Y con las siguientes ecuaciones obtenemos el intervalo de confianza de la fiabilidad real que tiene nuestra clasificación F y el error de muestro aleatorio simple EM:

$$EM = \sqrt{\frac{p q}{n}} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$F = \hat{F} \pm z \cdot EM \quad \text{Ecuación 16}$$

Aplicando estas ecuaciones a cada uno de los índices espectrales analizados, y con una fiabilidad del 95% podemos establecer la fiabilidad del cartografiado.

Tabla 9. Errores de muestreo e intervalos de confianza para el porcentaje de acierto en la delimitación del área quemada en función de los índices espectrales analizados.

	Error de muestro aleatorio simple (EMAS)	Intervalo de confianza (F)
RGB	26,10%	92,0 ± 0,5117
NDVI	33,10%	86,4 ± 0,6486
SAVI	33,88%	85,6 ± 0,6641
SVI	32,98%	86,5 ± 0,6463
TVI	33,99%	85,5 ± 0,6663

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado una estimación del área quemada en el pasado incendio de 2007 en Gran Canaria, sin considerar la influencia orográfica y delimitando el número de clases a las mínimas posibles, con el objetivo de comprobar si puede hacerse una evaluación rápida de la superficie afectada con tan sólo una imagen ASTER post-incendio.

Se ha mapeado el incendio mediante índices espectrales usando las bandas VNIR de ASTER. Todos ellos pueden aportar resultados adecuados para un rápido cartografiado con tan sólo una imagen post-incendio, aunque se detectan errores de comisión y omisión diferentes en función del índice aplicado, entendido como que zonas quemadas no han sido seleccionadas como tal, o zonas seleccionadas como quemadas que no lo son. Este hecho es debido sobre todo al tipo de vegetación existente en la zona sur de la isla, la cual crea una continua mancha difusa de campo espectral muy similar al de la zona quemada.

Aunque los resultados de la utilización de los datos ASTER post-incendio en el cartografiado del área quemada son aceptables ya que se obtienen aciertos superiores al 84%, es nuestra intención continuar en esta línea mejorando nuestras estimaciones con la adición del modelo de combustibles obtenido a partir de imágenes hiperespectrales y medidas de campo. Así mismo la utilización de imágenes en fechas más próximas al final del incendio puede ayudar a una mejor estimación de la zona afectada, si bien hay que constatar que no siempre es posible dada la escasa resolución temporal del sensor utilizado. Finalmente, en la línea de mejoras que proponemos a la metodología, se pretende introducir otro tipo de clasificaciones orientadas a objetos y redes neuronales.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por la DGUI del Gobierno Autónomo Canario (Proyecto de investigación PI042005/108) y por el Ministerio de Educación, Política Social y Deporte y Ministerio de Ciencia e Innovación (Proyecto de Investigación CGL2004-06099-C03-02/CLI).

BIBLIOGRAFÍA

- Alistair M. S. Smith (2007): How to convert ASTER radiance values to reflectance. University of Idaho. <http://www.cnrhome.uidaho.edu/default.aspx?pid=85984>.
- AOL noticias. Información obtenida de comunicado de la Agencia EFE en agosto de 2007. <http://www.aol.es/noticias/story/El-sat%C3%A9lite-SPOT-eval%C3%B1a-en-30000-hect%C3%A1reas-quemadas-en-Canarias-y-MODIS-en-32500/2040904/index.html>
- Chuvieco E., Ventura G., Martín M.P. y Gómez I. (2005): Assessment of multitemporal compositing techniques of MODIS and AVHRR images for burned land mapping. *Remote Sensing of Environment*, 94: 450-462.
- Chuvieco Salinero, E. (2002): *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel, Madrid, 592 pp.
- Csiszar I., Loboda T., French N. H. F., Giglio L. y Hockenberry T.L. (2007): *A multi-sensor approach to fine scale fire characterization*. http://fireconsumption.mtri.org/Linked%20Publications/Multi_sensor_fine_scale_char_poster.pdf

- Deering, D. W., Rouce, J. W., Haas, R. H. y Schell, J. A. (1975): Measuring Forage Production of Grazing Units from Landsat MSS Data. *Proceedings 10th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 2: 1169-1178.
- Fraser R.H., Li Z. y Latifovic R. (2000): Boreal Forest Fire Mapping Using SPOT VEGETATION. *22nd Canadian Symposium on Remote Sensing*, British Columbia, August 20-25.
- García M y Chuvieco E. (2004). Assessment of the potencial of SAC-C/MMRS imagery for mapping burned areas in Spain. *Remote Sensing of Environment*, 92, pp. 414-423.
- Huang, C., Davis, L.S. y Townshend, J.R.G. (2002): An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal Remote Sensing*, Vol. 23 (4): 725-749.
- Huete A. R. (1989): Soil influences in remotely sensed vegetation canopy spectra. *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*. G. Asrar, John Wiley and Sons, New York, pp. 107-141.
- Lihoung, Su, Chopping, M.J., Rango, A., Martonchik, J.V. y Peters Debra, P.C. (2007): Support vector machines for recognition of semi-arid vegetation types using MISR multi-angle imagery. *Remote Sensing of Environment*, 107: 299-311. <http://www-misr.jpl.nasa.gov/mission/pubs/fulltext/Su2007.pdf>
- Mercier, G. y Lennon, M. (2003): Support vector machines for hyperspectral image classification with spectral-based kernels. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IGARSS apos; 03. Proceedings. 2003 IEEE International. Volume 1, Issue, pp. 288-290.
- Nieto G. y Martín I. P. (2006): Estudio comparativo de índices espectrales para la cartografía de áreas quemadas con imágenes MODIS. *XII Congreso Nacional de Tecnologías de La Información Geográfica. El Acceso a la Información Espacial y las Nuevas Tecnologías Geográficas*. Granada, pp. 883-894. http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/XII_2/065%20-%20G%F3mez%20y%20Mart%EDn.pdf
- Nikolakopoulos, K.G. (2003): Use of Vegetation Indexes with ASTER VNIR data for burnt areas detection in Western Peloponnese, Greece. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IGARSS apos; 03. Proceedings. 2003 IEEE International. Volume 1, Issue, pp. 3287-3289.
- Ononye A. E., Vodacek A. y Saber E. (2007): Automated extraction of fire line parameters from multispectral infrared images. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 108, Issue 2: 179-188.
- Pu R., Gong, P., Li Z. y Scarborough J. (2004): A dynamic algorithm for wildfire mapping with NOAA/AVHRR data. *International Journal of Wildland Fire*, 13: 275-285.
- Rouce, J. W., R.H. Haas, J. A. Schell y Deering, D. W. (1973): Monitoring Vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings 3rd ERTS Symposium*, Vol. 1: 48-62.
- Tucker, C.J. (1979): Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2): 127-150.
- Vapnik, V. (1995): *The nature of statistical learning theory*. New York, NY: Springer-Verlag.

V.V.A.A. (2005) (2007): *ASTER User's Guide*: <http://www.science.aster.ersdac.or.jp/en/documnts/users-guide/index.html>

Yoon, Y. y Kim, Y. (2007): Application of Hyperion Hyperspectral Remote Sensing Data for Wildfire Fuel Mapping. *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 23 (1): 21-32.

Anaya, Jesús; Chuvieco, Emilio y Palacios-Orueta, Alicia (2008): Propuesta preliminar para la estimación de emisiones por biomasa quemada en Colombia. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 474-487. ISBN: 978-84-96971-53-0.

PROPUESTA PRELIMINAR PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR BIOMASA QUEMADA EN COLOMBIA

Anaya, Jesús^{1,2}; Chuvieco, Emilio² y Palacios-Orueta, Alicia³

(1) Ingeniería Ambiental, Universidad de Medellín, Carrera 87 N° 30 - 65 • Medellín – Colombia. janaya@udem.edu.co

(2) Depto. de Geografía, Universidad de Alcalá, Colegios 2, 28801 Alcalá de Henares, España. Emilio.chuvieco@uah.es

(3) Departamento de Silvopascicultura, E.T.S.I Montes. Universidad Politécnica de Madrid, España. Alicia.palacios@upm.es

RESUMEN

Este documento propone un método para estimar emisión de gases por efecto de quema de biomasa basado en el trabajo de Seiler y Crutzen (1980) entre los años 2001-2006 a nivel nacional. Para ello es necesario obtener información de área quemada, biomasa, eficiencia del quemado y cantidad de gases traza generada por unidad de materia seca. Se evalúan diferentes productos de área quemada disponibles en el ámbito científico con el fin de seleccionar aquel que presente los menores errores de omisión y comisión en el área de interés, los más importantes son: Modis (MCD45), GBA 2000, AATSR y AQS. Por otro lado, la biomasa se ha estimado con el apoyo de datos de campo. Dado que no existen mediciones de biomasa para toda la zona de estudio se establecieron correlaciones entre datos medidos en campo y datos derivados de imágenes de satélite como los mapas de fracción de vegetación y los índices de vegetación. En el caso de la eficiencia del quemado se propone el uso de los índices de verdor como una aproximación al contenido de humedad del combustible, se espera que el fuego consuma mayor cantidad de biomasa cuando esta se encuentre menos verde. Finalmente, se aplican valores fijos de laboratorio para determinar la cantidad de gases traza generada por unidad de materia seca quemada.

Palabras Clave: Llanos de Colombia, quema de biomasa, emisiones, teledetección.

ABSTRACT

This document presents a method to estimate emissions of trace gases from biomass burning based on the Seiler and Crutzen (1980) equation, the study period ranges from 2001 to 2006 and is to be applied at a national scale. In order to apply this equation three variables must be estimated: burnt area, biomass load, burning efficiency, and amount of trace gas released per dry matter unit. Burnt area products available for the scientific community were evaluated in order to select the most appropriate for the study area. Evaluated products were: MODIS MCD45, SPOT L3JRC, AATSR Glob-Carbon and AQS. In the case of Biomass load, available datasets are not appropriate to describe its spatial distribution. There are many different approaches to estimate fuel load using remote sensing derived data. Here, Vegetation Continuous Fields and vegetation indexes were related to biomass measured at field plots. By the other hand, Greenness vegetation index is proposed as a mean to approach burning efficiency. It is assumed that vegetation greenness is related to fuel moisture content, and so, burning efficiency increases as vegetations gets drier. Finally, fix laboratory values of amount of trace gas releases per dry matter unit are applied to burnt biomass.

Key words: Colombian Savannas, biomass burning, emissions, remote sensing.

INTRODUCCION

En el ámbito regional y global los bosques tropicales son considerados como una gran reserva de carbono, sin embargo presentan altas tasas de deforestación a través del aprovechamiento forestal y la quema de biomasa especialmente en África y Latinoamérica. La ocurrencia del fuego en el trópico esta relacionada con las prácticas de quemados de pastizales para ganadería y la creación de claros en zonas de bosque para agricultura; además se ve agravado por el cambio climático y el cambio acelerado en el uso del suelo Cardoso et al. (2003). Estas

prácticas se realizan fundamentalmente en los períodos secos y se ven agravadas por causas naturales como el fenómeno del niño Levine et al. (1999). Las variables involucradas en la emisión de gases por quema de biomasa son el área quemada, la biomasa y la eficiencia del quemado.

A principios de 2003 se publicaron dos mapas de área quemada para el año 2000 conocidos como Global Burnt Area GBA2000 y GlobScar cuyo objetivo principal era generar información homogénea de carácter global con una metodología estándar Hoelzemann et al. (2004). Basados en estos productos se han estimado un total de 720,000 km² y 123,000 km² de área quemada para África del Sur y Sudamérica respectivamente Hoelzemann et al. (2004). Actualmente los mapas de área quemada con cobertura global más utilizados son L3JRC <http://www-tem.jrc.it> y GlobCarbon <http://www.geosuccess.net>, siendo versiones mejoradas y ampliadas de los proyectos GBA2000 y GlobScar. En el ámbito Sudamericano se destacan los productos de área quemada elaborados por Chuvieco et al. (2008) a partir de compuestos MODIS de reflectividad – 32 días y AQS a partir de compuestos MODIS de 16-días MCD43 (Opazo and Chuvieco, *sometido a publicación*). Una vez definidas las áreas quemadas y su biomasa asociada es posible realizar una descripción espacio temporal de las emisiones.

La información en distribución espacial de biomasa aérea es indispensable para determinar la cantidad de combustible que existía en un área que ha sido identificada como quemada y por tanto cuantificar las emisiones. Sin embargo los estudios previos de mediciones de biomasa en Colombia citados son extremadamente detallados y locales (a nivel de parcelas) cubriendo pequeñas superficies o bien, extremadamente generales con datos tabulares o con píxeles mayores a medio grado Olson et al. (2003), Olson et al. (1985), FAO (2005). La teledetección ha sido utilizada de diversas maneras para aproximarse a la estimación de la biomasa. Varios estudios han resaltado fuertes correlaciones entre la biomasa y la reflectividad o la biomasa y los índices de vegetación (IV). Sin embargo, la mayor limitación en estimar biomasa con IV es la saturación cuando los valores son altos, es decir en zonas boscosas Myneni et al. (2001), Unsalan y Boyer (2003). Sensores activos como Radar y Lidar también han sido utilizados en la estimación de biomasa. Quiñones (2002) encontró que la banda P (65 cm) era la más adecuada para describir la biomasa utilizando datos Radar aunque con saturaciones alrededor de las 150 ton/ha. Por su parte el sensor Lidar ha demostrado su habilidad para determinar biomasa en todos los rangos de valores incluyendo los más altos, por ejemplo: 200 ton/ha al Nor-este de Costa Rica, La Selva Drake et al. (2002); 400 ton/ha en Colorado Front Range USA Hall et al. (2005) y 1300 ton/ha en los bosques de coníferas en el Nor Oeste de los Estados Unidos Means et al. (1999).

Sin embargo, no toda la biomasa expuesta al fuego es consumida y por tanto se debe hacer una aproximación a la proporción de biomasa quemada ó eficiencia del quemado. Una medición directa de la energía desprendida por la quema de biomasa sería un indicador de la biomasa consumida, en este sentido Wooster et al. (2003) ha utilizado la banda MODIS 3.9 μm para determinar la cantidad de energía desprendida por incendios de forma individual. Desafortunadamente la alta cantidad de observaciones para seguir de forma continua la energía desprendida por el incendio dificulta la implementación de este método. Otra forma de hacer una aproximación a la proporción de biomasa quemada son las índices de verdor y la humedad del combustible. Hoffa et al. (1999), encontró que la eficiencia del quemado sigue tendencias estacionales correlacionadas con la humedad de la vegetación, afectando tanto al tipo como a la cantidad de las emisiones. La humedad del combustible puede ser obtenida a través de mediciones directas en campo y a través de índices meteorológicos Chuvieco (2008), siendo las primeras muy exigentes en trabajo de campo y las segundas muy generales ya que no consideran las adaptaciones fisiológicas de la vegetación a la disponibilidad de la humedad. Estudios previos con datos obtenidos por teledetección han demostrado que la humedad de la vegetación puede estimarse de forma empírica o utilizando modelos de simulación. Ceccato et al. (2002) diseñó un índice de diferencia normalizada para cuantificar el contenido de agua de la vegetación basado en el SWIR y en el infrarrojo cercano. Dado que MODIS ofrece varias bandas en esta parte del espectro es posible calcular un estimado de la humedad con una resolución espacial y temporal adecuada dentro del contexto de la quema de biomasa. Finalmente, otra forma de aproximarse a la variación mensual de la humedad teniendo en cuenta factores estructurales es el que proponen Palacios-Orueta et al. (2004), donde se modifican valores estándar de eficiencia del quemado en función del verdor relativo de la vegetación.

Aunque esté artículo se fundamenta en una exposición metodológica, también se presentan resultados preliminares en la distribución espacial y temporal de la biomasa, la ocurrencia de incendios y las emisiones de CO₂. El objetivo principal es aplicar al ecuación propuesta por Seiler y Crutzen (1980) haciendo el máximo uso de información obtenida por teledetección, con lo cual se propone (i) establecer relaciones entre datos de bioma-

sa medidos en campo con datos de teledetección, (ii) validar mapas existentes de área quemada, y (iii) esbozar los principios para la estimación de eficiencia del quemado a través de los índices de verdor.

ZONA DE ESTUDIO

Colombia es un país tropical ubicado al Norte de América del Sur, tiene un área total de 1.139.012 km² con una gran reserva de carbono en los bosques primarios pero también con una alta ocurrencia de incendios y deforestación. El clima está regido por la Zona de Convergencia Intertropical con una temporada seca en Enero, aunque también existe una gran cantidad de humedad proveniente del océano pacífico que sube por el efecto orográfico de la cordillera los Andes y se traduce en zonas que superan precipitaciones anuales de 8000 mm. Las condiciones de humedad y alta temperatura a baja altitud promueven una rápida regeneración de la vegetación favoreciendo la fijación de CO₂, sin embargo aquellas áreas con una estación seca muy marcada tienen una alta ocurrencia de incendios. Colombia ha sido dividido en cinco regiones naturales (Fig. 1). 1) Andina, es el centro del país, donde se ha realizado el mayor desarrollo en infraestructura alternado con una alta producción agrícola. 2) Amazónica, al sur, contiene la mayor reserva de Carbono en bosques primarios. 3) Orinoquía, al oriente, caracterizada por grandes extensiones de pastizales con alta ocurrencia del fuego inter-anual; 4) Pacífica, al occidente, la segunda gran reserva de carbono del país, aunque sometida a altas tasas de deforestación debido a la presencia de ríos y costas que facilitan el transporte de la madera; y finalmente 5) Caribe, al norte, presenta relieve plano, excepto por la sierra nevada de Santa Marta que supera los 6000 msnm. Incluye extensiones importantes de pastizales en la depresión momposina y zonas áridas en la península de la Guajira.

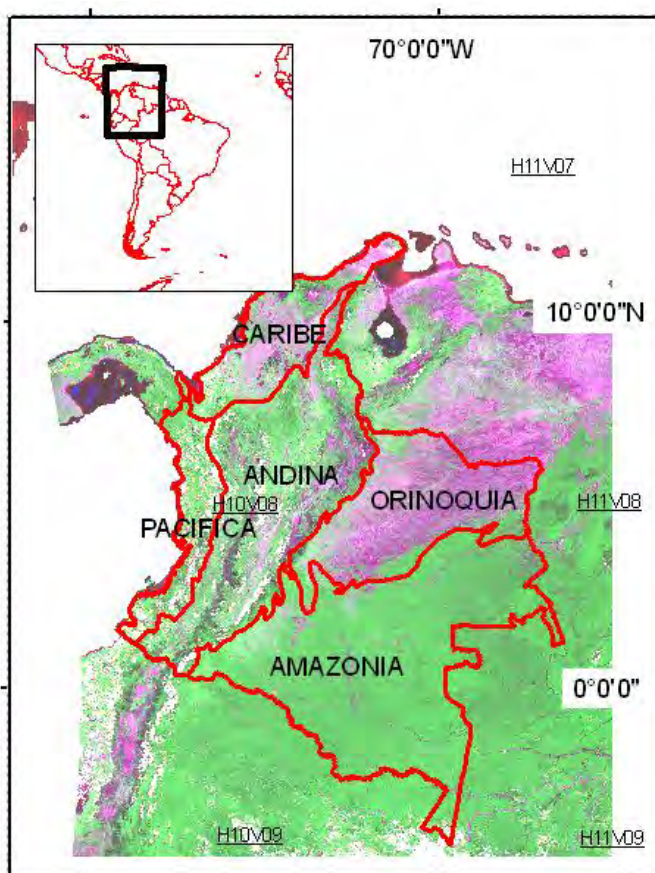


Figura 1. Sistema de referencia MODIS para Colombia. H10V07, H11V07, H10V08, H11V08, H10V09, H11V09, y Regiones Naturales.

METODOLOGIA

Se busca hacer una estimación de las emisiones generadas por quema de biomasa utilizando la aproximación indirecta propuesta por Seiler y Crutzen (1980). Esta aproximación se basa en cuatro componentes que se relacionan entre si de la siguiente forma:

$$M_{i,j,k} = B_{i,j,m} \times EQ_{i,j,m} \times AQ_{i,j} \times E_k \times 10^{-15}$$

Donde, $M_{i,j,k}$ es la cantidad del gas emitido por unidad de área (con coordenadas i,j) en Tg; B es la biomasa (materia seca) para la misma área en $g\ m^{-2}$ (se asume que el área tiene una cubierta homogénea del tipo de vegetación m); EQ es la eficiencia del quemado (proporción (0/1) de biomasa consumida) del tipo de vegetación m ; AQ es el área quemada en m^2 de la misma área (i,j); y, E_k es el factor de emisión, es decir, la cantidad del gas k emitido por unidad de materia seca ($g\ Kg^{-1}$ de biomasa). A continuación se describen los aspectos metodológicos que se siguieron para determinar cada uno de los componentes. En primer lugar se expone la validación de área quemada, en segundo lugar se propone un método para definir la biomasa en la zona de estudio y en tercer lugar se describe la aproximación para determinar la eficiencia del quemado. Los factores de emisión a utilizar estarán basados en campañas realizadas en campo o se han tomado de referencias bibliográficas para los principales gases.

Área quemada (AQ)

Se validaron cuatro mapas de área quemada para la zona de estudio y dentro del período de estudio: L3JRC, GlobCarbon, MCD45 y AQS. La validación se realizó siguiendo el método de matrices de confusión. Los mapas de área quemada de referencia o verdad terreno fueron obtenidos a partir de imágenes Landsat o Cbers en diferentes ecosistemas pero con énfasis en la época seca donde se presenta la mayor cantidad de incendios. Para la obtención de la información de verdad terreno se interpretaron y clasificaron imágenes del sensor Landsat TM/ETM y CBERS CCD de forma dicotómica: quemado y no quemado. Se generaron regiones de entrenamiento sobre las imágenes en compuestos de falso color asignando diferentes regiones a diferentes tonos de área quemada, una vez se abarcaron todos los tonos de área quemada presentes en la escena se realizó el proceso de clasificación de máxima verosimilitud. Las imágenes ETM+ disponibles a partir de 14 de Julio de 2003 no pueden ser clasificadas de forma supervisada debido al fallo radiométrico del sensor por descompensación del barrido SLC (Scan Line Corrector), por tanto la extracción de áreas quemadas de estas imágenes se realizó con técnicas de interpretación visual por polígonos. Es prácticamente imposible obtener imágenes con área quemada y a la vez libre de nubes a través de un diseño de muestreo en la zona de estudio, por tanto las imágenes utilizadas no provienen de un muestreo estadístico.

En el proceso de clasificación de imágenes se definieron regiones de entrenamiento de áreas quemadas lo suficientemente recientes para no incurrir en falsas detecciones, este proceso se hace más complejo en la medida en que la señal quemada es menos reciente ya que la vegetación se va regenerando rápidamente en ecosistemas tropicales. Se estima que en este proceso las áreas definidas como quemadas en las imágenes de resolución media tienen como máximo 30 días. Este valor es de suma importancia de cara a la validación, ya que en los productos a evaluar es posible identificar el día en que se ha detectado el fuego y por tanto se conoce la fecha de cada uno de los píxeles quemados. De esta forma en la validación de cada producto de área quemada se incluye solamente la selección de áreas quemadas en los 30 días previos a la fecha de toma de cada imagen Landsat o Cbers, con lo que se espera lograr la mayor coherencia temporal entre los productos a evaluar y la información de referencia.

Biomasa (B)

Con el fin de determinar la distribución espacial de la biomasa se establecieron relaciones entre datos derivados de teledetección (el índice de vegetación (IV) y los mapas de contenido de arbolado) y valores obtenidos en parcelas. Se asumió que una mayor proporción de arbolado o altos valores del índice de vegetación, dentro de un mismo tipo de cobertura, estén asociados a mayores valores de biomasa. El índice de vegetación utilizado aquí se conoce como MOD13A1- *Enhanced Vegetation Index* (EVI) con resolución espacial de 500 m y temporal de 16 días. Este índice fue propuesto inicialmente por Huete et al. (1997) y se calculó como:

$$EVI = G * [(\rho_{IRC} - \rho_R) / (C1 + \rho_{IRC} + C2 * \rho_R - C3 * \rho_A)]$$

Donde,

EVI: *Enhanced Vegetation Index*

$\rho_A, \rho_R, \rho_{IRC}$: Reflectividad en la banda del Azul, Rojo, e Infrarrojo Cercano.

C1 = 1.0, Factor ajustado para suelo desnudo

C2 = 6.0, Coeficiente de resistencia atmosférica

C3 = 7.5, Coeficiente de resistencia atmosférica

G = 2.5, *Gain factor*.

El mapa de proporción de arbolado fue desarrollado por Hansen et al. (2002). En principio se trata de un producto que consta de tres capas: arbolado, herbazales y suelo desnudo, donde la suma de los valores de los píxeles en una misma posición siempre es de 100%. Específicamente se seleccionó la capa VCF-arbolado, en adelante VCFa donde cada píxel representa la proporción de arbolado en un área de 25 ha. Se descarta la utilización de las otras dos capas como variables explicativas por su multicolinealidad. La colección 3 VCF de 2001 fue obtenida de <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/vcf/> y ha sido validada de forma exitosa en los trópicos Hansen et al. (2002), Hansen et al. (2003) considerándose muy superior en nivel de detalle a las versiones anteriores.

Por otro lado, se generó una base de datos de mediciones de biomasa en parcelas para bosques en diversos estados sucesionales. Estas mediciones se basan en relaciones alométricas definidas por cada autor para su propia zona de estudio con tamaños de parcelas que varían desde las 0.01 ha hasta 0.1 ha. En general se reporta una gran variabilidad espacial en los valores de biomasa en bosques, se alude que esta variabilidad se debe, al grado de intervención, a la edad de los bosques y a su posición fisiográfica entre otros. En el caso de los pastos se resalta la gran variabilidad temporal en valores de biomasa. Rippstein *et al.* (2001) reportan valores entre 0.6 y 5 ton/ha para la biomasa en los llanos Orientales de Colombia después de la quema y después de la época de lluvias respectivamente. Las parcelas en pastizales al manejar bajos volúmenes de biomasa pueden permitirse la medición directa de muestras de vegetación utilizando marcos de 2.5 m² Rippstein et al. (2001). En total se utilizó información de 44 parcelas en diversas coberturas vegetales y distribuidas entre Panamá, Colombia y Venezuela.

El modelo lineal utilizado es del siguiente tipo:

$$B = a + b * X + c * X_1$$

Donde:

B: Biomasa (ton/ha)

a, b y c son constantes de regresión

X, X₁: EVI y VCFa

El modelo exponencial utilizado es del siguiente tipo:

$$B = a * e^{(b * X)}$$

Donde, a y b son constantes de regresión

X : (EVI ó VCFa)

Debido a la saturación reportada ante altos valores de biomasa, el índice de vegetación EVI será relacionado solo con bajos valores de biomasa en pastizales y el mapa de proporción de arbolado en zonas de bosque.

Eficiencia del Quemado (EQ)

Asumir que la totalidad de la biomasa asociada a un área quemada genera emisiones resultaría en una sobre estimación de las emisiones. En realidad solo un porcentaje de la biomasa existente antes del fuego es consumida y por tanto solo un porcentaje de carbón se aporta a la atmósfera a causa del fuego. Fearnside et al. (2001) alude a la necesidad de establecer relaciones entre estos aportes y las dimensiones del combustible, por ejemplo, separando el combustible fino (humus y hojas) del grueso (troncos y ramas). Ito y Penner (2004) reportan que mientras los materiales finos se consumen en su totalidad solo lo hacen un tercio de los materiales gruesos. Por otro lado, se espera que un fuego poco intenso esté asociado a combustibles más húmedos y viceversa. La estimación de la humedad en pastizales ha sido correlacionada exitosamente con valores de NDVI, sin embargo este índice no incluye bandas espectrales en el infrarrojo de onda corta, lo cual crea problemas al extrapolar las mediciones a otros tipos de vegetación Palacios-Orueta et al. (2004). De forma preliminar se utilizaron los valores estándar obtenidos en referencias bibliográficas por cobertura del suelo (Akerelodu y Isichei (1991); Bilbao y Medina (1996); Dignon y Penner (1996); Hoffa et al. (1999); Kasischke et al. (2000); Levine (2000)). Dado que la eficiencia del quemado se asigna a una cobertura del suelo específica se utilizó el mapa MOD12Q1 con píxel de 1 km. Este mapa consta de 17 coberturas definidas por el programa IGBP y se puede acceder a él en: <http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod12q1v4.asp>. Dada la alta diversidad climática y altitudinal casi todas las coberturas IGBP se ven representadas en el país, a cada píxel se le asignó un valor de eficiencia del quemado de aquellos reportados en estudios previos. Los valores de eficiencia del quemado utilizados son una proporción 0/1 donde aquellos que tienen una alta eficiencia del quemado tienen valores cercanos a 1, como las sabanas, y lo que tienen baja eficiencia del quemado, como los bosques tropicales de hoja ancha, tienen valores cercanos a cero. De la misma forma aquellas clases desprovistas de vegetación como la infraestructura presentan valores de eficiencia del quemado cercanos a cero.

Factores de emisión (E)

Al igual que la eficiencia del quemado, los factores de emisión fueron obtenidos de trabajos previos, en este caso de Andreade y Merlet (2001) y del experimento SCAR-B para el CO₂. El dióxido de carbono es uno de los gases traza más relevantes y por tanto ha sido seleccionado en este trabajo para ser indicador de las emisiones. Los factores de emisión fueron asignados a cada píxel del mapa MOD12Q1 relacionando cada cobertura del suelo con su respectivo valor de Factor de Emisión de CO₂ en (g/Kg de biomasa). De esta forma a cada píxel le fue asociado un valor de eficiencia del quemado (EQ) y un valor de factores de emisión para CO₂ (FE-CO₂).

RESULTADOS PRELIMINARES

Esta sección presenta los resultados de Área Quemada, biomasa y emisiones de CO₂. Ambas bases de datos cubren toda el área y período de estudio con una resolución temporal de 16-días y espacial de 1000 m.

Área Quemada (AQ)

En total se generaron 20 matrices de confusión para los cuatro productos evaluados: L3JRC, GlobCarbon, MCD45 y AQS. La exactitud global es próxima al 90% en la mayoría de los casos, esto principalmente a la gran cantidad de acuerdos entre píxeles no quemados. Sin embargo los errores por omisión de área quemada son particularmente altos (media 0.44) y mayores que los errores de comisión de área quemada (media 0.38) lo cual resulta en una subestimación del área total quemada. A pesar de que existe un patrón hacia mayores valores de omisión también hay una alta dispersión de los errores entre las escenas de alta resolución utilizadas como verdad terreno. La figura 2 presenta un plano cartesiano donde se grafican los errores de omisión y comisión de área quemada, las elipses abarcan errores correspondientes a una misma escena con lo que se observa que los algoritmos de área quemada tienen comportamientos muy disímiles entre escenas pero su comportamiento es similar al interior de cada escena.

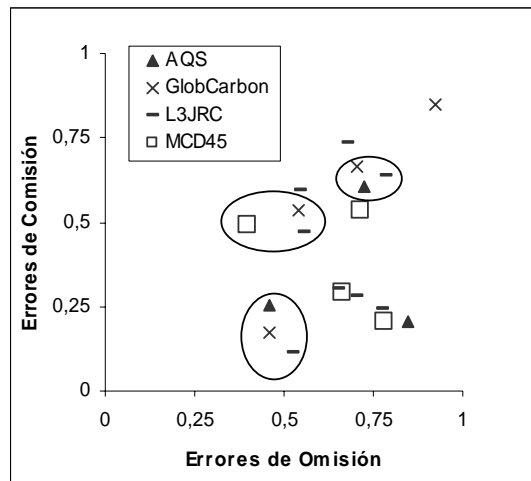


Figura 2. Errores de omisión y comisión para las matrices de confusión calculadas en cuatro productos de área quemada. Las elipses incluyen valores para una misma escena.

GlobCarbon tiene una amplia variación de errores, los pares de coordenadas de errores de omisión-comisión incluyen a la vez el más bajo y el más alto entre todos los productos. AQS presenta valores muy similares a los otros productos de píxel de 1000 m aunque su longitud temporal es mucho menor que la propuesta para este estudio. Lo mismo ocurre para MCD45 que aunque en términos generales presenta los errores más bajos aún se encuentra en fase de validación y por tanto solo algunas fechas se encuentran disponibles. Por tanto el producto más adecuado a la fecha y para la zona de estudio es el L3JRC. Con este producto se estima que el valor medio de área quemada para Colombia entre 2001 y 2007 es de 15222 km², con un máximo en el año 2004 de 20361 km² y un mínimo en el año 2005 de 9767 km² (Figura 3 (a)).

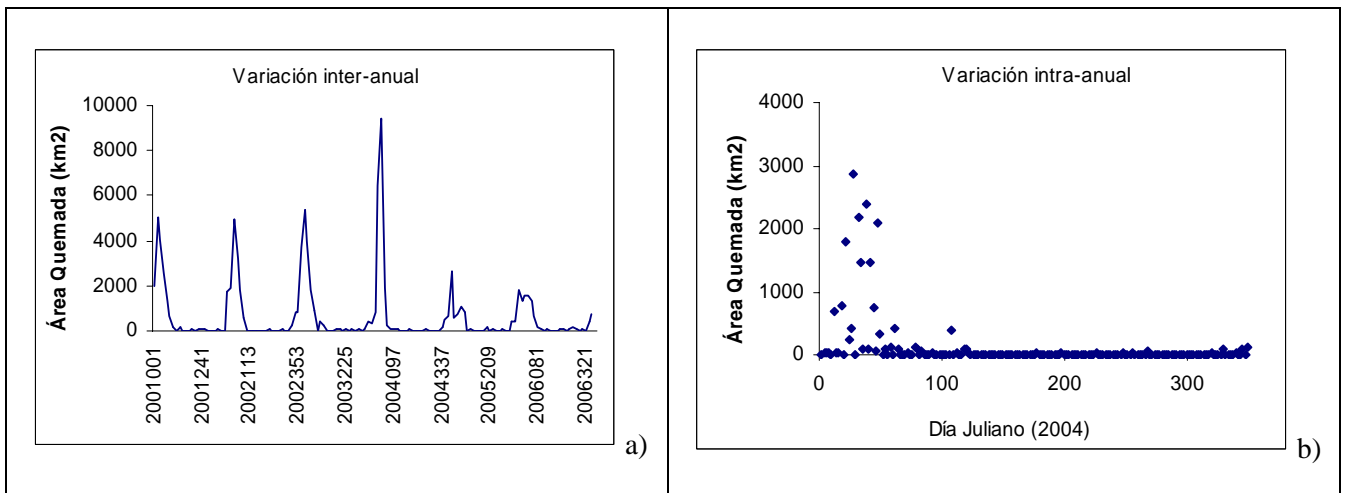


Figura 3. Distribución temporal de áreas quemadas según el producto L3JRC, a) Área quemada diaria en el período 2001-2006 (año-día juliano) b) distribución intra-anual para el año 2004.

Lo cual demuestra la altísima variabilidad inter-anual de área quemada, en la medida en que aumente la serie sería posible determinar aspectos como, su relación con el clima, la existencia de una autocorrelación temporal y la tendencia a aumentar reportada dentro del contexto del cambio climático. Por otra parte, la Fig 3 (b) permite hacer un análisis intra-anual de área quemada, mostrando que los días con mayor cantidad de área quemada se concentran entre los días julianos 0 y 100, es decir, una mayor ocurrencia de grandes extensiones de área quemada durante los tres primeros meses de año.

Biomasa (B)

En total se ajustaron cuatro ecuaciones que relacionan datos derivados de teledetección con valores de biomasa medidos o estimados en parcelas (Tabla 1). Dos de las cuatro ecuaciones fueron ajustadas para bosques en función del contenido de arbolado VCFa y dos ecuaciones para pastizales en función del índice de vegetación mejorado EVI. Las dos ecuaciones para bosques son una para bosque primario (ecuación 1) y otra para bosque intervenido (ecuación 2), esta separación fue necesaria dado que se observó una acumulación de píxeles con altos valores de porcentaje de arbolado pero con bajos valores de biomasa. Estos píxeles corresponden a bosques secundarios y cubren un amplio rango de estados sucesionales.

En el caso de los pastizales se buscó que el modelo pudiera representar la alta variación estacional de biomasa para este tipo de cobertura. Para ello nos basamos en los datos de Scurlock et al. (2003) en Venezuela. Esta zona tiene características similares a los Llanos colombianos y por tanto puede considerarse representativa de la zona de estudio. Las tendencias intra-anales de EVI y biomasa resultan bastante similares con lo cual se espera que el modelo sea representativo para distintos años (Fig. 4)

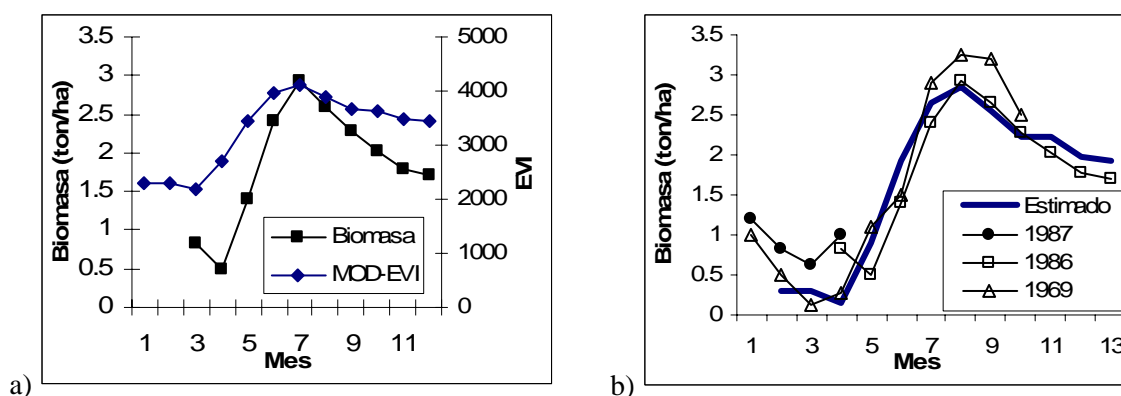


Figura 4. Productividad y valores del índice de vegetación EVI de la estación Calabozo en los Llanos Venezolanos (8.93 N, 67.42 W). En la figura (a) se hace explícita la relación entre MOD-EVI y la biomasa aérea medida en campo, en la figura (b) se observan los estimados de biomasa en función de MOD-EVI y las mediciones de campo en tres años distintos

A diferencia de las parcelas de bosques donde la biomasa se considera representativa de una superficie relativamente homogénea, las mediciones en parcelas de pastizales utilizadas aquí no consideran la existencia de un arbolado intercalado y por tanto la ecuación 3 es válida solo para una cobertura total de Pastizal. Por tanto la clase Pastizales y Arbolado incluye un Factor de Corrección (FC) en función del contenido de arbolado VCFa. El valor FC es constante 31.4 (ton/ha) y fue calculado como la media de biomasa de los bosques secundarios (ecuación 4).

Tabla 1. Modelos de estimación de Biomasa (ton/ha)

Modelo	Clase	R ²	Sig. F	Ecuación
$1.951 \cdot \exp(0.0625 \cdot VCFa)$	Bosque primario	0.78	0.001	(1)
$0.419 \cdot \exp(0.061 \cdot VCFa)$	Bosque intervenido	0.72	0.001	(2)
$0.0014 \cdot EVI - 2.8911$	Pastizales	0.9		(3)
$(0.0014 \cdot EVI - 2.8911) \cdot (100 - VCFa) / 100 + FC \cdot VCFa / 100$	Pastizales y arbolado			(4)

Se utilizó un mapa de coberturas vegetales para discriminar entre bosques primarios y bosques secundarios y así aplicar las ecuaciones 1 y 2. La ecuación 4 se aplica a todos los píxeles con VCFa < 40 pero en función de EVI, con lo cual es posible obtener un valor de biomasa cada 16 días. De esta forma es posible hacer un segui-

miento en el proceso de cambio de biomasa o de ocurrencia de incendios. Una desventaja de este método es asumir que el porcentaje de arbolado determinado en 2001 es constante en todo el período de estudio 2001-2006, sin embargo es la mejor representación de la estructura de la vegetación a este nivel de detalle para el país. La tabla 2 presenta los totales de biomasa para las distintas regiones, dado que los pastizales varían en función de EVI se presenta un promedio para este tipo de cobertura en el período de estudio. La distribución espacial muestra claramente altas reservas de carbono en la Amazonía seguida por las regiones Andina y Pacífica. Finalmente las regiones caracterizadas por pastizales o bajo contenido de arbolado son las que menores valores totales de biomasa presentan: Orinoquía y Caribe.

Tabla 2. Estadísticos de biomasa por región

Región	Área (km ²)	Biomasa aérea promedio (Tm/ha)	Biomasa (Mill. Tm)
Caribe	110,014	24	264
Andina	306,010	58	1,775
Pacífica	81,280	96	780
Orinoquía	202,618	43	871
Amazonía	439,090	291	12,777
Total del país	1,139,012		16,467

CO₂ emitido (M)

Dado que la resolución temporal de biomasa y de área quemada es de 16 días se puede hacer un estimado de emisiones de CO₂ bimensuales. Los resultados de emisión de este gas se obtiene para cada píxel de 1 km² en toneladas y los resultados se presentan en Tg por región. Como se observa en la Fig. 5 la región que mayor emisión presenta es la Orinoquía cubierta especialmente por sabanas y previamente identificada como de alta ocurrencia del fuego, por otro lado esta la región pacífica que no ha sido considerada por no presentar áreas quemadas en el período de estudio. A pesar de la gran cantidad de biomasa de la Amazonía Colombina esta no aparece como una región relevante en la emisión de CO₂. Excepto por la región Caribe y la Pacífica el resto del país muestra las mayores emisiones durante la época seca del año 2004 en todo el período de estudio.

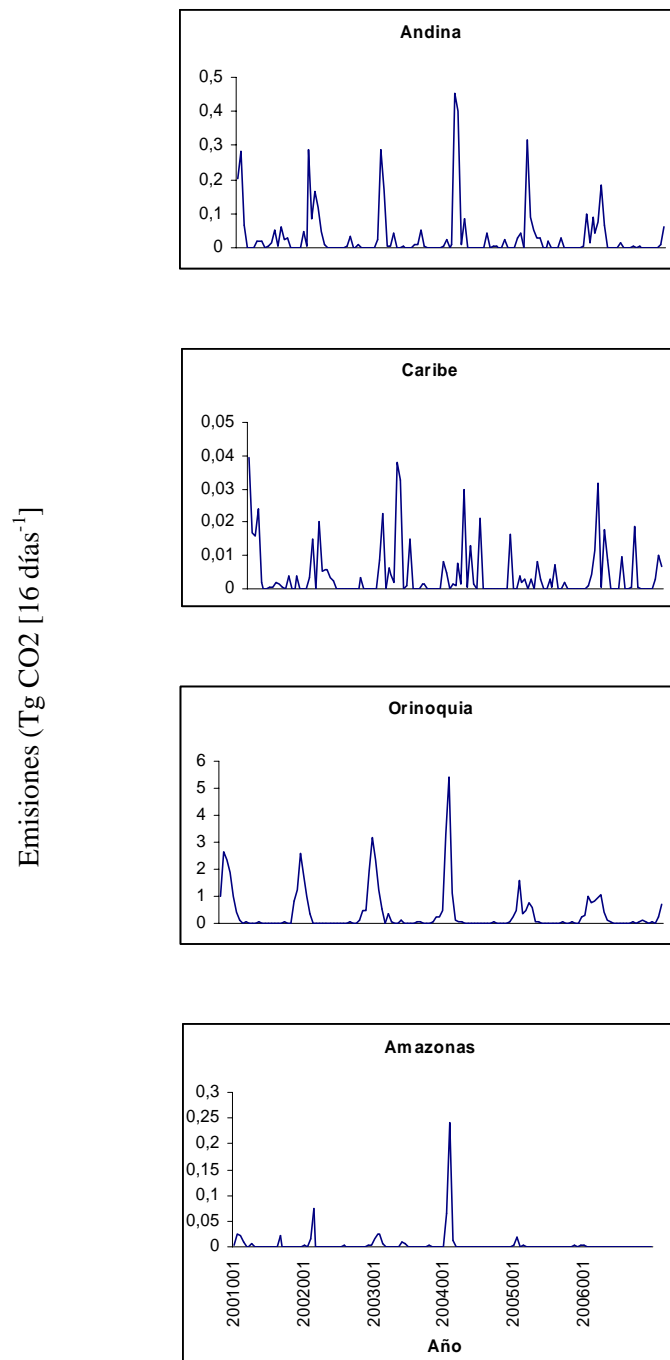


Figura 5. Emisiones por quema de biomasa (Tg CO₂ 16-días⁻¹) para las regiones naturales definidas en la Fig. 1.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

A pesar de que la línea del Ecuador cruza a Colombia en la región amazónica, se puede considerar que en términos de incendios el país pertenece al hemisferio norte, donde se presenta su mayor ocurrencia entre los meses de enero y marzo.

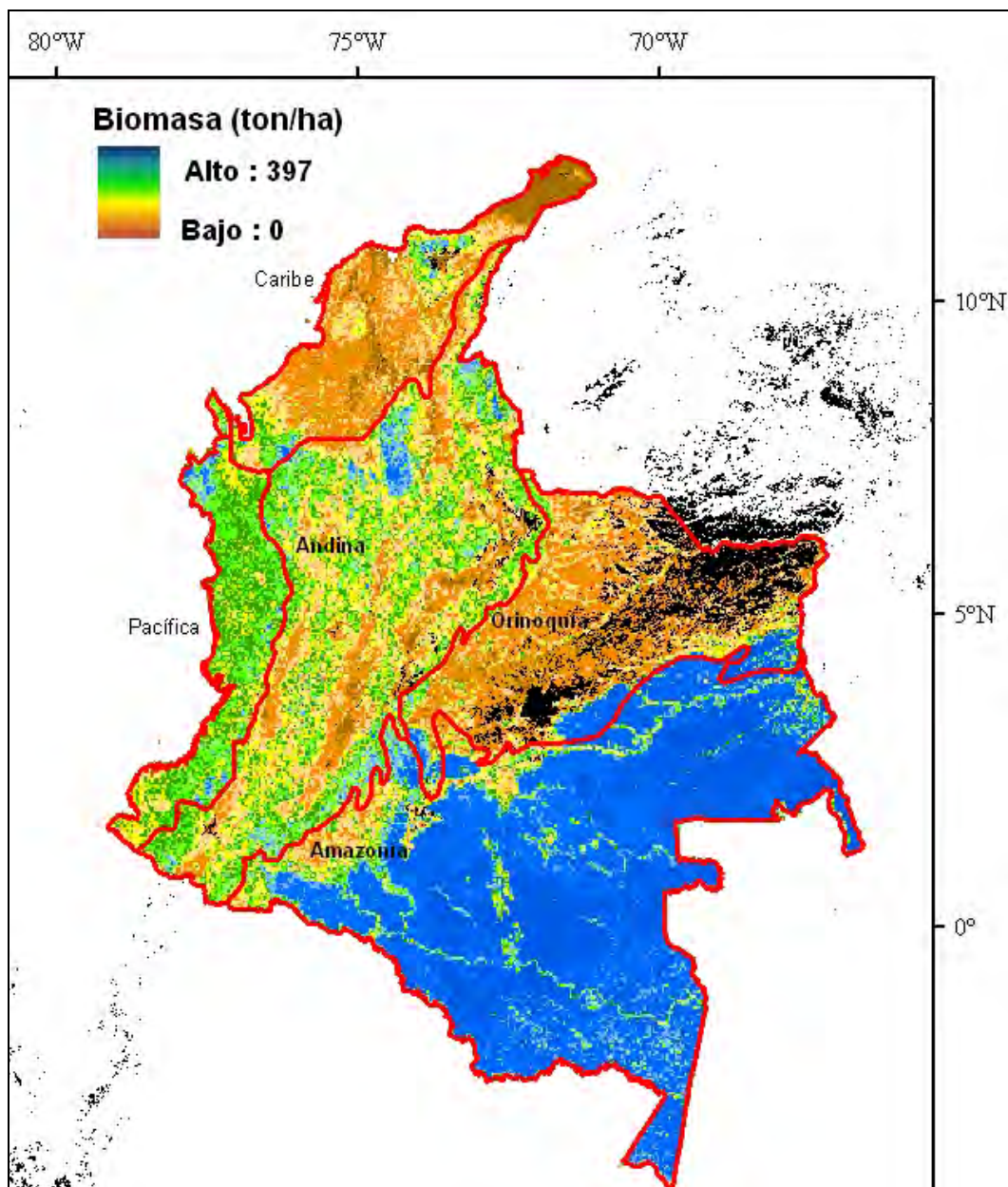


Figura 6. Distribución espacial de la biomasa y las áreas quemadas (en negro) entre 2001 y 2006

Como se observa en la Fig. 6 la mayor ocurrencia del fuego se da en la Orinoquía (Llanos Orientales); seguida por la región Andina especialmente en la cordillera oriental. En la región Caribe se observan áreas quemadas en la Sierra Nevada de Santa Marta y al norte en La Macuira. Aunque de menor extensión las áreas quemadas en la Amazonía son de mayor importancia, dado que se ubican en zonas con una alta biomasa especialmente en la serranía de la Macarena. La región pacífica no presenta ningún área quemada en el período de estudio. Esto último puede deberse a una omisión recurrente debido a la altísima nubosidad de la zona, sin embargo las condiciones climáticas caracterizadas por altas precipitaciones hace pensar que la ocurrencia de incendios es realmente baja en la región. De esta forma la zona de mayor importancia en ocurrencia del fuego en Colombia se concentra en la región de la Orinoquía, pero más especialmente a lo largo del límite entre los Llanos Orientales y el bosque amazónico. Es aquí donde las emisiones se inician con la tumba y quema de los bosques primarios, continua con la tumba y quema de la regeneración, y se sostiene en el tiempo con la quema de pastizales como práctica agrícola.

La incertidumbre es la constante en las diferentes variables que componen la estimación de emisiones. En el caso de la biomasa vale la pena resaltar la altísima variabilidad encontrada en los trabajos de campo, la carencia de datos Lidar para mediar esta variable adecuadamente, las limitaciones para la validación y la dificultad de relacionar el alto nivel de detalle de las parcelas medidas en campo con el bajo nivel de detalle de los datos disponibles obtenidos por teledetección. Por otro lado, en el caso del área quemada todos los productos tienden a subestimar el área total quemada, esto se debe a la nubosidad, la rapidez con la cual la vegetación se regenera en el trópico y las falencias inherentes a los algoritmos de área quemada y su resolución espacial. El tamaño de píxel de área quemada de 1 km no permite detectar las áreas quemadas más pequeñas en bosque primario, que desde el punto de vista de emisiones son las de mayor importancia por sus altos valores de biomasa.

Con el ánimo de disminuir la incertidumbre los diferentes autores en emisiones por quema de biomasa tratan de definir aspectos como el comportamiento del fuego (tipo e intensidad), la eficiencia del quemado en función de la humedad o en función de la estructura de la vegetación (material fino o grueso). Sin embargo el tema es complejo debido a que la vegetación tiene múltiples estratos y con los métodos aquí propuestos solo se obtiene información de la parte superior del dosel. A pesar de la subestimación del total de área quemada en los productos disponibles, existe una clara tendencia en los últimos años ha mejorar los algoritmos, a disminuir el tamaño del píxel y ha mejorar los métodos de validación. En este sentido la mayor incertidumbre recae sobre la Biomasa y la Eficiencia del Quemado.

El promedio anual de CO₂ en los 6 años del período de estudio es de 9,6 Tg. La Orinoquía resalta por su gran cantidad de emisiones, seguida por las regiones Andina, Caribe y Amazonas. La región Pacífica no se incluye dentro de estas estadísticas debido a la inexistencia de área quemada con lo cual sus emisiones son cero. Los valores de emisiones inter-anales varían notablemente ya que el valor mínimo para el período de estudio fue de 6.28 Tg en 2006 y el máximo de 12.5 Tg en 2004. Los resultados de este estudio se asemejan a los van der Werf et al. (2006) donde se reportan emisiones a escala global pero por regiones. En el caso de la región norte de Suramérica (norte de la línea del Ecuador hasta Centro América) se reporta un promedio de 7.8 Tg entre los años 1997 y 2004, con máximos en los años 1998-1999 y 2003-2004 superiores a 14 Tg de CO₂. Esto sugiere que nuestros resultados se encuentran dentro del rango de estudios previos. Para la continuación en esta misma línea se sugiere profundizar en los valores de eficiencia del quemado de acuerdo a la variabilidad intra-anual, asociar la alta variabilidad de emisiones a los aspectos climáticos y aumentar el número de tipos de gas en los estimados de emisiones.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por La Universidad de Medellín, la Universidad de Alcalá de Henares, y el programa de cooperación entre América Latina y la Unión Europea ALBan. Por otro lado agradezco al Depto de Ciencias Forestales -UNALMED- que ha realizado numerosos esfuerzos en el establecimiento de parcelas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akerelodu, F., y Isichei, A. O. (1991): *Emissions of carbon, nitrogen, and sulfur from biomass burning in Nigeria*. MIT, Press, Cambridge, MA.
- Andreade, M. O., y Merlet, P. (2001): Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 15: 955-966.
- Bilbao, E., y Medina, E. (1996): *Types of grassland fires and Nitrogen volatilization in Tropical Savannas of Calabozo, Venezuela*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Cardoso, M. F., Hurtt, G. C., Moore III, B., Nobre, C. A., y Prins, E. M. (2003): Projecting future fire activity in Amazonia. *Global Change Biology*, 9: 656-669.

- Ceccato, P., Gobron, N., Flasse, S., Pinty, B., y Tarantola, S. (2002): Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1: Theoretical approach. *Remote Sensing of Environment*, 82: 188-197.
- Chuvieco, E., (Ed) (2008): *Earth Observation of Global Change*. Springer, Dordrecht, Holanda.
- Chuvieco, E., Opazo, S., Sione, W., Del Valle, H., Anaya, J., Di Bella, C., Cruz, I., Manzo, L., Lopez, G., Mari, N., Gonzalez, F., Morelli, F., Setzer, A., Csiszar, I., Karpandegui, A., Bastarrika, A., y Libonari, R. (2008): Global Burned Land Estimation in Latin America using MODIS Composite Data. *Ecological Applications*, 18: 64-79.
- Dignon, J., y Penner, J. E. (1996): *Biomass burning: a source of nitrogen oxides in the atmosphere*. MIT press, Cambridge, MA.
- Drake, J. B., Dubayah, R. O., Knox, R. G., Clark, D. B., y Blair, J. B. (2002): Sensitivity of large-footprint lidar to canopy structure and biomass in a neotropical rainforest. *Remote Sensing of Environment*, 81: 378-392.
- FAO. (2005): Global forest resources assessment (FRA) 2005 - main report. Progress towards sustainable forest management. *FAO Forestry paper*, 147, 318 pp.
- Fearnside, P. M., Graca, P. M. L. d. A., y Rodrigues, F. J. A. (2001): Burning of Amazonian rainforests: burning efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 146: 115-128.
- Hall, S. A., Burke, I. C., Box, D. O., Kaufmann, M. R., y Stoker, J. M. (2005): Estimating stand structure using discrete-return lidar: an example from low density, fire prone ponderosa pine forests. *Forest Ecology and Management*, 208: 189-209.
- Hansen, M. C., DeFries, R. S., Townshend, J. R., Carroll, M., Dimiceli, C., y Sohlberg, R. (2003): MOD44B: Vegetation Continuous Fields Collection 3, Version 3.0.0. *Earth Interactions*, 1-20.
- Hansen, M. C., DeFries, R. S., Townshend, J. R. G., Sohlberg, R., Dimiceli, C., y Carroll, M. (2002): Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: examples using AVHRR and MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 83: 303-319.
- Hoelzemann, J. J., Schultz, M. G., Brasseur, G. P., y Granier, C. (2004): Global Wildland Fire Emission Model (GWEM): Evaluating the use of global area burnt satellite data. *Journal of Geophysical Research*, 109: 1-18.
- Hoffa, E. A., Ward, D. E., Hao, W. M., Susott, R. A., y Wakimoto, R. H. (1999): Seasonality of carbon emissions from biomass burning in a Zambian savanna *Journal of Geophysical Research*, 104: 13841-13853.
- Huete, A., Liu, H., y Leeuwen, W. (1997): The Use of Vegetation Indices in Forested Regions: Issues of Linearity and Saturation. *IEEE*, 1966-1968.
- Ito, A., y Penner, J. E. (2004): Global estimates of biomass burning emissions based on satellite imagery for the year 2000. *Journal of Geophysical Research*, 109: 1-18.
- Kasischke, E. S., Stocks, B. J., O'Neill, K., French, N. H., y Bourgeau-Chavez, L. L. (2000): *Direct Effect of fire on the boreal forest carbon budget*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Levine, J. S. (2000): *Global Biomass Burning: A case Study of the Gaseous and Particulate Emissions Released to the Atmosphere During the 1997 Fires in Kalimantan and Sumatra, Indonesia*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.

- Levine, J. S., Bobbe, T., Ray, N., y Witt, R. G. (1999): Wildland Fires and the Environment: a Global Synthesis. En: *UNEP/DEIAEW/TR.99-1*, pp 1-52.
- Means, J. E., Acker, S. A., Harding, D. J., Blair, J. B., Lefsky, M. A., Cohen, W. B., Harmon, M. E., y McKee, W. A. (1999): Use of Large-Footprint Scanning Airborne Lidar To Estimate Forest Stand Characteristics in the Western Cascades of Oregon. *Remote Sensing of Environment*, 67: 298-308.
- Myneni, R. B., Dong, J., Tucker, C. J., Kauffman, R. K., Kauppi, P. E., Liski, J., Zhou, L., Alexeyev, V., y Hughes, M. K. (2001): A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests. En: PNAS (Ed), *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, pp. 1-7.
- Olson, J. S., Watts, J. A., y Allison, L. J. (1985): Major World Ecosystems Complexes Ranked by Carbon in Live Vegetation: A Database. En: R.E. Millemann, y T.A Boden (Eds.), *Carbon Dioxide Information Center, Information Resources Organization, Oak Ridge National Lab*, Energy, U. S. D., 18 pp.
- Olson, J. S., Watts, J. A., y Allison, L. J. (2003): LBA Regional Carbon in Live Vegetation, 0.5-Degree (Olson) En: *Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center*, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. [<http://www.daac.ornl.gov>]
- Palacios-Orueta, A., Parra, A., Chuvieco, E., y Carmona, C. (2004): Remote sensing and geographic information systems methods for global spatiotemporal modeling of biomass burning emissions: Assessment in the African Continent. *Journal of Geophysical Research*, 109: 1-12.
- Quiñones, M. (2002): *Polarimetric Data for Tropical Forest Monitoring. Studies at the Colombian Amazon*. Wageningen University, Wageningen.
- Rippstein, G., Escobar, G., y Motta, F., (Eds.) (2001): *Agroecología y Biodiversidad de las Sabanas en los Llanos Orientales de Colombia*. CIAT, 322.
- Scurlock, J. M., Johnson, K. R., y Olson, J. S. (2003): NPP Grassland: NPP Estimates from Biomass Dynamics for 31 Sites, 1948-1994. En: *Data set*. Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. [<http://www.daac.ornl.gov>]
- Seiler, W., y Crutzen, P. J. (1980): Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. *Climate Change*, 2: 207-247.
- Unsalan, C., y Boyer, K. (2003): Linearized Vegetation Indices Using a Formal Statistical Framework. *IEEE*, 982-984.
- van der Werf, G. R., Randerson, J. T., Collatz, G. J., Giglio, L., Kasibhatla, P. S., Arellano, A. F., Olsen, S. C., y Kasischke, E. S. (2006): Interannual variability of global biomass burning emissions from 1997 to 2004. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 6: 3175-3226.
- Wooster, M., Zhukov, B., y Oertel, D. (2003): Fire radiative for quantitative study of biomass burning: derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 86: 83-107.

Blas Morato, Rocío y Nieto Masot, Ana (2008): Mapa de riesgos de incendios forestales de la provincia de Cáceres. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 488-501. ISBN: 978-84-96971-53-0.

MAPA DE RIESGOS DE INCENDIOS FORESTALES DE LA PROVINCIA DE CÁCERES

Blas Morato, Rocío y Nieto Masot, Ana

Departamento de Arte y Ciencias del Territorio, Universidad de Extremadura. Avda. de la Universidad s/n, CP 10071, Cáceres.
rblas@unex.es – ananieto@unex.es

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es la obtención de un Mapa de Riesgos de Incendios Forestales para la provincia de Cáceres (Extremadura) a partir de la aplicación de un índice analítico mediante Sistemas de Información Geográfica.

La metodología utilizada es una integración y adaptación de diferentes índices a las peculiaridades del área de estudio. Para ello se han tenido en cuenta no sólo factores estructurales o estadísticos sino también antrópicos, aportando una visión global de este tipo de perturbaciones y haciendo especial hincapié en la causalidad de las mismas.

Las variables empleadas para llevar a cabo el análisis han sido obtenidas mediante diferentes técnicas cartográficas (generalización, cambios de formato, rasterización, reclasificación, etc.) a partir de las fuentes disponibles.

Como resultado final hemos obtenido una cartografía de riesgo de incendios forestales representativa de la realidad, homogénea y de fácil actualización.

Palabras Clave: Incendios Forestales, riesgo, SIG.

ABSTRACT

The objective of this work is to obtain a map of Wild land Forest Fire Risks to the province of Cáceres (Extremadura) from the application of an analytical index through geographic information systems (GIS).

The methodology used is an integration and adaptation of different indices to the peculiarities of the study area. This has been taking into account structural and statistics factors, as well as man-made causes, providing an overview of such disturbances and with special emphasis on causation.

The variables used to carry out the tests have been obtained using different mapping techniques from available sources (generalization, changes in format, reclassification, etc.).

As a result we have obtained a final homogeneous map of forest fires risk, representative of reality and easy to update.

Key Words: Forest Fire, Risk, GIS.

LOS INCENDIOS FORESTALES EN LA PROVINCIA DE CÁCERES

A pesar de la importancia de este fenómeno, los estudios al respecto en esta provincia en particular, y en Extremadura en general, son muy escasos y concretos, hasta el momento no se ha llevado a cabo un análisis pormenorizado del riesgo de incendios forestales, tan sólo se ha abordado esta cuestión en años con gran incidencia (Colegio de Ingenieros de Montes, 2004) o para la realización del Plan de Lucha contra Incendios Forestales (INFOEX, Decreto 123/2005, de 10 de mayo) y del Plan de Prevención de la Comunidad Autónoma (PREIFEX, Decreto 86/2006, de 2 de mayo).

Evolución del Número de Incendios

Cáceres es una provincia con unas características climáticas, físicas y socioeconómicas que la sitúan dentro de las regiones con gran incidencia de incendios forestales. El clima mediterráneo, la presencia de grandes masas forestales y su característica interfaz rural-forestal son los elementos básicos para que la presencia del fuego sea uno de los elementos más importantes de degradación medioambiental de la región

Cáceres es una provincia con unas características climáticas, físicas y socioeconómicas que la sitúan dentro de las regiones con gran incidencia de incendios forestales. El clima mediterráneo, la presencia de grandes masas forestales y su característica interfaz rural-forestal son los elementos básicos para que la presencia del fuego sea uno de los elementos más importantes de degradación medioambiental de la región.

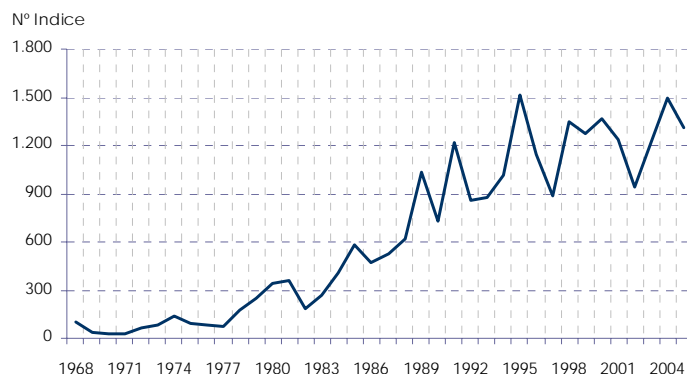


Figura 1. Evolución del Número de Incendios Forestales (1968 – 2005). Provincia de Cáceres

Como se puede observar en el gráfico adjunto la tendencia general en cuanto al número de incendios es a la alza, de ahí la importancia de estudios sobre riesgo de incendios, que permitan establecer políticas y actuaciones contextualizadas y lo más cercanas posibles a la realidad.

Evolución de la Superficie Quemada

La evolución de la superficie afectada no ha sufrido un incremento equiparable al número de incendios, su trayectoria es mucho más estocástica, dependiendo en gran medida de las condiciones climáticas (sequías, etc.) y de la ocurrencia de grandes incendios forestales (Blas, 2006).

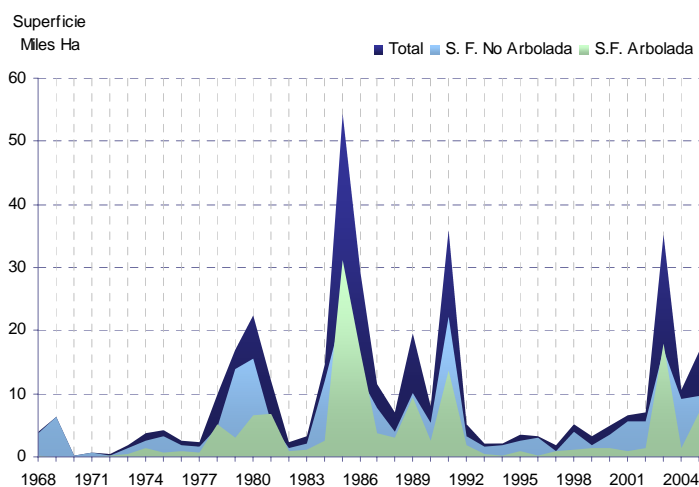


Figura 2. Evolución de la Superficie Afectada (1968 – 2005). Provincia de Cáceres

Como podemos observar, en 1985 tuvo lugar el máximo histórico de superficie quemada, fue un año trágico que corona más de una década (1980-1991) donde se quemó el 34% de la superficie total afectada por incendios.

En 1992 se inicia un nuevo ciclo en la relación incendios forestales – pérdidas. Las cifras en cuanto a superficie vuelven a situarse en torno a los valores de comienzo de la serie, aunque el número de siniestros siguen acelerando su escalada. El descenso de la superficie quemada es fruto de las inyecciones de capital, las mejoras técnicas y formativas en cuanto a detección y extinción, así como de la puesta en marcha de proyectos preventivos (Doctor, 2004).

Sin embargo en la actualidad todavía se registran años nefastos, donde la superficie afectada triplica la media, concretamente el año 2003 fue el último registro donde los valores ascendieron por encima de las 30.000 ha.

Causa de los Incendios Forestales

El análisis de las causas de los Incendios Forestales es uno de los elementos clave para el establecimiento de la metodología de trabajo y al adaptación de los diferentes índices a la realidad. En la estadística extremeña se diferencia entre causas conocidas y desconocidas, siendo esta última una categoría de la que se abusa en la recogida de datos mediante los partes de incendios forestales, alcanzando incluso a caracterizar hasta el 40% de los registros.

En cuanto a las causas conocidas, podemos realizar una primera aproximación, según su tipo, para posteriormente poner de manifiesto la casuística más relevante.

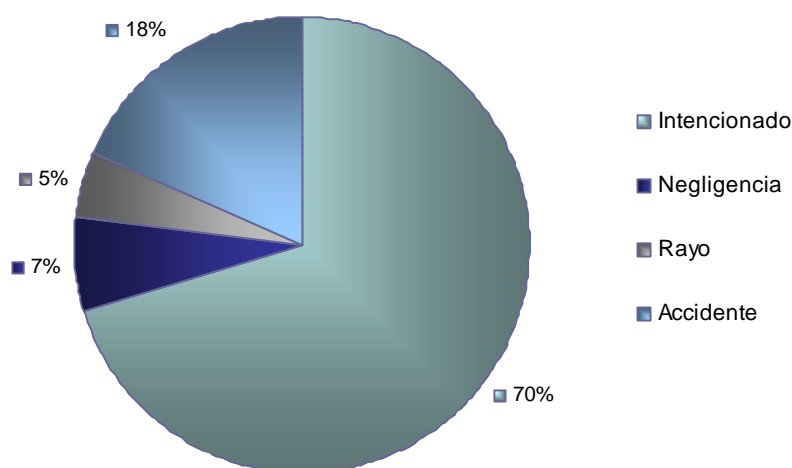


Figura 3. Causas Conocidas de Incendios Forestales (1968 – 2005). Provincia de Cáceres

Como podemos observar en la Figura 3, la inmensa mayoría de los incendios con causas conocidas son intencionados, seguidos de lejos por las causas accidentales. Este dato pone de manifiesto la importancia del factor humano en la aparición de los incendios forestales.

Las causas intencionadas más frecuentes son las relacionadas con el uso tradicional del fuego; regeneración de pastos y eliminación de matorral y residuos agrícolas. Todavía en muchos núcleos rurales hay sectores de la población que ven en los incendios forestales un efecto positivo a corto plazo, y abusan de él sin medir las consecuencias que sus acciones pueden acarrear. El fuego ha sido una herramienta utilizada por el hombre desde los albores de la humanidad, sin embargo, la nueva realidad del monte desaconseja la utilización indiscriminada del fuego para la realización de tareas como las indicadas, puesto que el abandono de tierras labradas, las repoblaciones de coníferas y multitud de factores físicos y humanos, hacen que el fuego adquiera un comportamiento más agresivo en el monte, siendo sus consecuencias imprevisibles.

En menor medida son identificadas causas relacionadas con intereses de algunos sectores como la caza (6,5%), el inmobiliario (2,4%), etc. También hay algunos casos relacionados con venganzas o enfermedades mentales, pero son escasos.

Por otro lado, los incendios producto de negligencias se caracterizan por seguir los mismos patrones que los intencionados, con la única salvedad de que la intención de los autores no era la de que sus actividades se extendieran al monte. Un 24% de las negligencias son fruto de quemas agrícolas, un 15% de quemas para regenerar pastos, etc.

Otro dato significativo es la alta participación de los fumadores en el grupo de causas por negligencias, alcanzando un 15%, superando a causas como las hogueras, quemas de basuras, etc.

En cuanto a las causas accidentales destacan la alta participación de la maquinaria y motores como agentes desencadenantes (50 %), pero también es representativa la participación de otros elementos estructurales del territorio; el ferrocarril (26 %) y las líneas eléctricas (18 %), por lo tanto, la presencia de estos dos elementos aumenta el riesgo de que se produzca un incendio forestal.

Como consecuencia de estos factores, un significativo 25% de los incendios se inician junta a carreteras, al que si le añadimos otras vías de comunicación como senderos, pistas forestales o incluso vías férreas la cifra asciende a un 43 %, casi igualando a los incendios que se producen en el monte propiamente dicho (45,6 %).

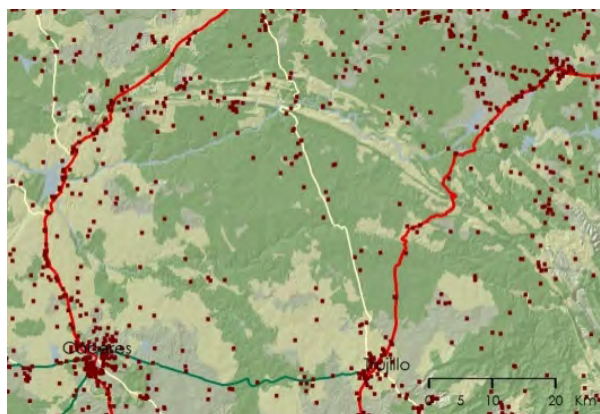


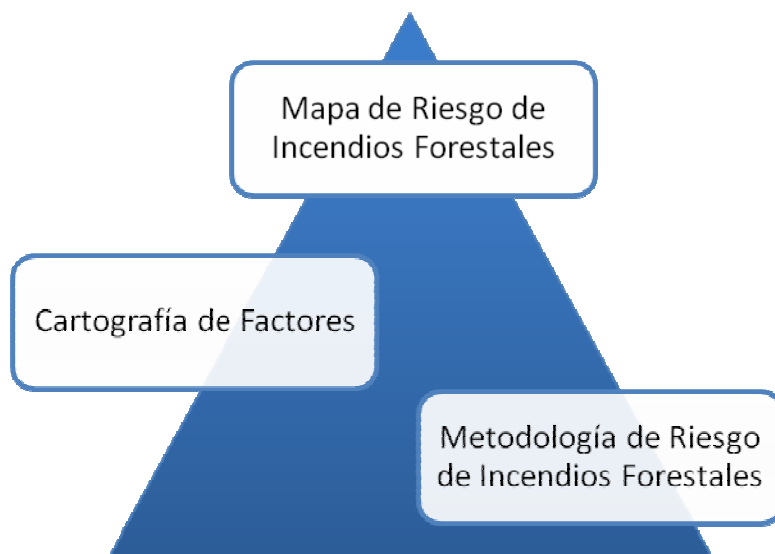
Figura 4. Detalle de la Distribución Espacial de los Incendios

Finalmente debemos destacar la concentración de un elevado número de incendios entorno a los núcleos urbanos de mayor envergadura de la región, Cáceres, Plasencia, Villanueva, etc. La mayor concentración de actividades humanas alrededor de las ciudades y núcleos de población aumentan las posibilidades de ignición, siendo la interfaz urbano-rural un elemento de riesgo (Vélez, 2000).

EL RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES

El análisis del riesgo de incendios forestales debemos abordarlo desde una definición clara de lo que es el RIESGO, entendiendo como tal aquel que expresa la probabilidad de que el fuego se inicie y la vulnerabilidad de las áreas potencialmente afectadas (adaptación de CHUVIECO y SALAS, 2004).

Por lo tanto debemos definir una secuencia de objetivos, como la que representamos en el diagrama adjunto, para el establecimiento del riesgo de incendios forestales en la provincia de Cáceres:



La evaluación del riesgo en la provincia de Cáceres se ha abordado única y exclusivamente en la fase de elaboración del PREIFEX, con el objetivo de zonificar la región en niveles de riesgo para la planificación de las actuaciones de prevención.

La metodología utilizada en el PREIFEX es una simplificación basada en los manuales de Vélez (1982 y 2000) con una adaptación realizada para incorporar el factor pendiente, basado en la metodología de la Consejería de Medio Ambiente, de Andalucía (Junta de Extremadura, 2006).

Los factores empleados, integrados mediante un SIG a nivel municipal, son:

- Causalidad de los incendios
- Frecuencia con la que se producen
- Coeficiente de peligrosidad relativa de cada formación forestal o combustible
- Pendiente.

La metodología diseñada para este trabajo se basa en la combinación y adaptación de las mencionadas anteriormente, junto con la integración de elementos novedosos, que nos permitan obtener un mapa de riesgo dinámico.

Para el establecimiento de la misma, en primer lugar se ha optado por seguir un modelo de integración de factores por Pesos Ponderados, facilitando así su tratamiento mediante SIG.

En segundo lugar se ha realizado una selección de variables esenciales para el análisis del riesgo en la zona de estudio. Esta selección se orientó a la caracterización del riesgo según la definición Chuvieco y Salas (2004), que entiende el riesgo como la probabilidad de que el fuego se inicie y la vulnerabilidad de las áreas potencialmente afectadas. Por lo tanto las variables que debemos reflejar en el índice deberán atender tanto a la ignición y propagación, como a la vulnerabilidad.

La selección de las mismas se ha llevado a cabo fundamentándonos en las metodologías analizadas y en la Estadística de Incendios Forestales, sobre todo en los datos relacionados con la causalidad.

De este modo hemos obtenido una relación de factores imprescindibles para el cálculo del riesgo, y que son el reflejo de las características propias de esta perturbación en la provincia de Cáceres. Los cuales son representados en la siguiente tabla:

Tabla 1. Variables para la estimación de riesgo de incendios forestales

TIPO FACTOR	Variable	Tipo de Riesgo	Carácter
HUMANOS	Carreteras	I – C - V	Estático
	Ferrocarril	I – V	Estático
	Líneas Eléctricas	I – V	Estático
	Zonas Urbanas	I – V	Estático
	Vertederos	I	Estático
	Zonas de Ocio	I – V	Estático
NATURALES	Combustibles	I – C	Dinámico
	Pendiente	I – C	Estático
	Orientación	I – C	Estático
	Insolación	I – C	Estático
	Altitud	I – C	Estático
	Precipitaciones	I – C	Dinámico
	Temperaturas	I – C	Dinámico
	Humedad de la Vegetación (NDVI)	I – C	Dinámico
	Espacios Naturales Protegidos	V	Estático
HISTORICOS	Densidad de Incendios Forestales	I	Estático
	Gravedad	C	Estático

I: Ignición - C: Comportamiento - V: Vulnerabilidad

Como se puede observar en esta tabla los factores tanto humanos como naturales o históricos intervienen en diferentes tipos de Riesgo: Ignición, Propagación o Vulnerabilidad, pudiendo influir en varios de ellos a la vez, incluso con comportamientos opuestos, como por ejemplo es el caso de las carreteras, que son un importante foco de ignición, pero a la vez actúan de cortafuegos

Además, se han tenido en cuenta factores que aportan a la metodología un carácter dinámico, sobre todo por la incorporación de elementos que requieren una medida y actualización diaria, o incluso menor: temperatura, precipitaciones, NDVI, etc.

La introducción del contenido de humedad de la vegetación en los mapas de riesgo no es un elemento novedoso, lo que le otorga la cualidad de innovador es el uso de imágenes de satélite para su generación y actualización. La metodología más empleada para el uso de este tipo de técnicas es el cálculo de índices de vegetación, y especialmente el NDVI (Chuvieco y Martín, 2004).

El siguiente paso para la configuración de la metodología fue la selección de un método para la valoración de la aptitud de cada uno de estos factores ante la ignición, la propagación o la vulnerabilidad. Para ello se ha optado por la codificación de las variables en una escala cuantitativa según la incidencia en el riesgo de cada una de sus variables. Se ha configurado una escala de intervalos asociados a diferentes niveles de riesgo:

- Nulo = 0
- Bajo = 1
- Medio = 2
- Alto = 3
- Muy Alto = 4
- Extremo = 5

La codificación o reclasificación de cada atributo de los factores se hará siguiendo las indicaciones de la estadística y la bibliografía consultada.

Por otro lado, la integración de los factores en un índice se ha llevado a cabo mediante el cálculo de los diferentes tipos de riesgo:

- Ignición
- Comportamiento
- Vulnerabilidad

Ponderando en cada uno de ellos los diferentes grupos de variables, dotando de mayor peso a las más significativas, según los siguientes modelo, (basados en Chuvieco y Salas (1994)):

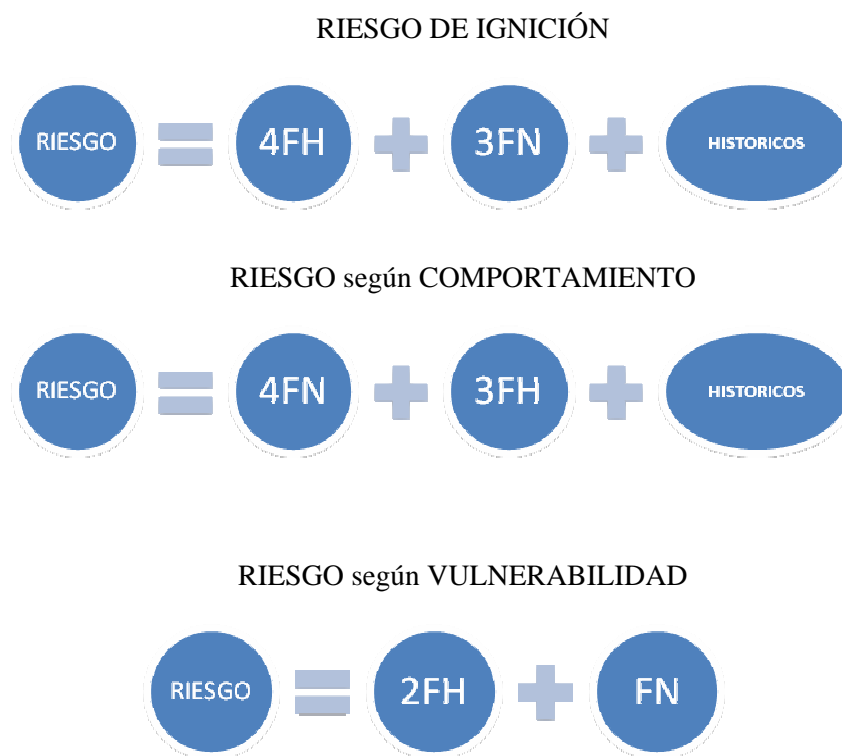


Figura 8. Ponderación de los Diferentes tipos de Factores según Riesgo

Para la asignación de pesos a los grupos de variables nuevamente nos hemos basado en Chuvieco y Salas (1994) y en la estadística de incendios forestales. De este modo la casuística otorga a los Factores Humanos un peso decisivo en la ignición y en la vulnerabilidad, siendo los más destacados los Naturales en la propagación por constituir el combustible y medio por el que se desarrolla.

La integración de las variables en los factores determinantes se hace en función de su incidencia ya sea positiva o negativa, asignándole los pesos según su influencia en función de su comportamiento favorecedor o limitante, como es el caso de la altitud, las precipitaciones, los factores humanos en el riesgo de comportamiento, etc. que actúan de forma inversa al reto de variables.

Para desarrollar la metodología es imprescindible su puesta en práctica mediante toda una serie de operaciones de análisis espacial, partiendo desde la cartografía base, pasando por la selección de factores, la codifica-

ción de atributos y su integración mediante pesos ponderados en un índice conjunto, para finalmente reclasificar el mapa resultante en cuatro intervalos de riesgo: bajo, medio, alto y extremo.

Tabla 2. Variables según tipo de riesgo

TIPO RIESGO	Tipo Factor	Variables	TIPO RIESGO	Tipo Factor	Variables
IGNICION	Factores Humanos	Carreteras	COMPORTAMIENTO	Factores Naturales	Combustibles
		Ferrocarril			Pendiente
		Líneas Eléctricas			Orientación
		Zonas Urbanas			Insolación
		Vertederos			Altitud
		Zonas de Ocio			Precipitaciones
					Temperaturas
					NDVI
	Factores Naturales	Combustibles	VULNERABILIDAD	Factores Naturales	Carreteras
		Pendiente			
		Orientación			Factores Humanos
		Insolación			Históricos
		Altitud			Factores Naturales
		Precipitaciones			
		Temperaturas			Factores Humanos
		NDVI			
	Históricos	Densidad de IF			

CARTOGRAFÍA DE FACTORES

El mapa de riesgo de incendios no sólo estará determinado por elementos técnicos, sino que se verá fuertemente condicionado por la disponibilidad de datos cartográficos y estadísticos del área de estudio. Por este motivo, antes de poner en práctica la metodología se procedió a una recopilación, tratamiento y análisis de los datos disponibles, realizando tareas de localización, importación, cambios de formatos proyecciones, así como validación de su idoneidad.

Aunque antes de nada se debe establecer una escala de referencia adecuada al área de estudio. Tras el análisis de la cartografía para la aplicación de la metodología nos pareció oportuno adaptarla a 1:200.000, debido sobre todo a la utilización de cartografía a escala inferior o similar y a la adaptación de posibles salidas gráficas coherentes (formato A0 como máximo). En este sentido es importante determinar que, puesto que la integración de las variables se realizará a través de técnicas de álgebra de mapas, el tamaño de pixel seleccionado se ha adecuado al límite de percepción visual de esta escala y se ha determinado en 40 m x 40 m.

Como se puede observar en la tabla adjunta, la mayoría de las variables se corresponden con la serie digital BCN del Instituto Geográfico Nacional a escala 1:200.000, abarcando además en una sola capa toda el área de

estudio. Sin embargo algunas variables estaban disponibles a escala 1:25.000 y 1:50.000, así como distribuidas en hojas del Mapa Topográfico Nacional, y en diferentes formatos, como ha sido el caso de los vertederos, líneas eléctricas o el Modelo Digital de Elevaciones (MDE). En estos casos se ha optado por generalizar los datos en el proceso de transformación a raster, adaptando el tamaño de pixel al determinado según la escala.

Por otro lado, para el cálculo del NDVI es importante destacar que la idea inicial era el uso de índices de vegetación del satélite MODIS, con una resolución temporal inferior, pero que debido a la falta de disponibilidad de dichas imágenes se optó por la integración del NDVI de una imagen SPOT con valores medios de la época estival de los cinco últimos años. De esta manera el mapa de riesgo resultante sería válido para la época de máximo riesgo.

Aunque en este sentido debemos manifestar la validez de la metodología para la integración de índices de vegetación procedentes de cualquier otra fuente, que nos permita así adaptar el mapa a las condiciones reales de la vegetación.

Tabal 3. Referencia Cartográfica de las Variables

Variable	Mapa de Referencia	Fuente	Escala	Formato
Carreteras	BCN 200	IGN	1:200.000	SHP
Ferrocarril	BCN 200	IGN	1:200.000	SHP
Líneas Eléctricas	MTN 25	IGN	1:25.000	DGN
Zonas Urbanas	BCN 200	IGN	1:200.000	SHP
Vertederos	MTN 25	IGN	1:25.000	DGN
Zonas de Ocio	No disponible	-	-	-
Combustibles	Mapa Forestal Extremadura	Junta de Extremadura	1:200.000	SHP
Pendiente	MDE	IGN	1:50.000	IMG
Orientación	MDE	IGN	1:50.000	IMG
Insolación	MDE	IGN	1:50.000	IMG
Altitud	MDE	IGN	1:50.000	IMG
Precipitaciones	I – C	Atlas Climático de Extremadura	1:200.000	SHP
Temperaturas	I – C	Atlas Climático de Extremadura	1:200.000	SHP
Hidrografía	BCN 200	IGN	1:200.000	SHP
Humedad de la Vegetación (NDVI)	Imagen SPOT	SPOT Image	1:50.000	HDF
Espacios Naturales Protegidos	Mapa de ENP Extremadura	Junta de Extremadura	1:200.000	SHP
Densidad de Incendios Forestales	Estadística de IF	Junta de Extremadura	-	MXD
Gravedad	Estadística de IF	Junta de Extremadura	-	MXD

Todas estas variables han sido codificadas, rasterizadas y reclasificadas en función de su influencia en el nivel de riesgo.

RESULTADOS

Como resultado de la puesta en práctica de la metodología descrita hemos obtenido una serie de mapas de riesgo secundarios, que tras su integración configuran un Mapa de Riesgo de la Provincia de Cáceres, con una escala de referencia de 1:200.000, donde podemos diferenciar cuatro niveles de riesgo: bajo, medio, alto, muy alto y extremo.

Los mapas obtenidos son los siguientes:

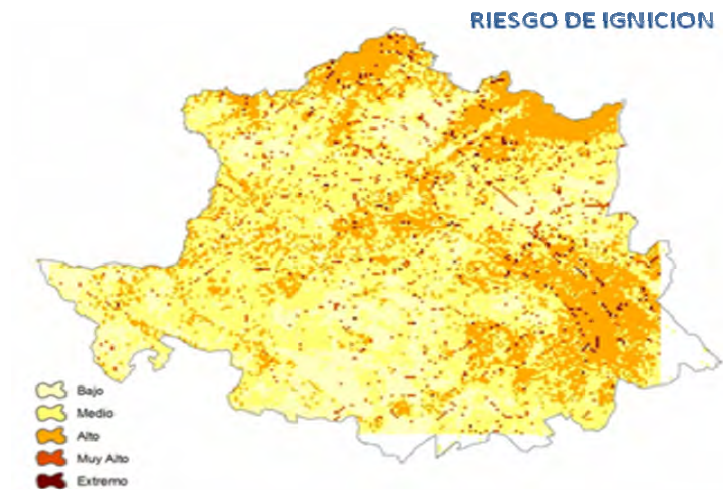


Figura 9. Riesgo de Ignición

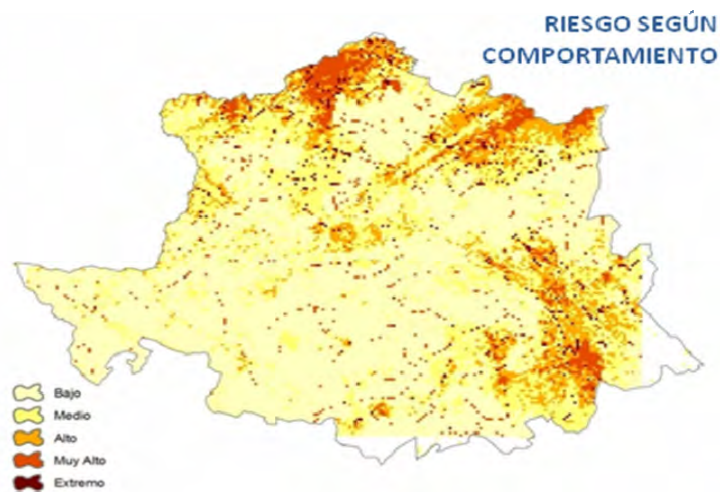


Figura 10. Riesgo según Comportamiento

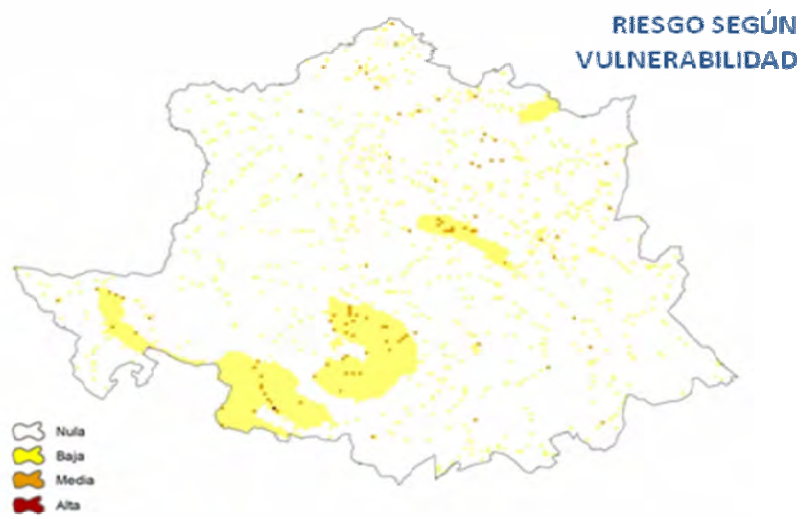


Figura 11. Riesgo según Vulnerabilidad

RIESGO DE INCENDIO FORESTAL

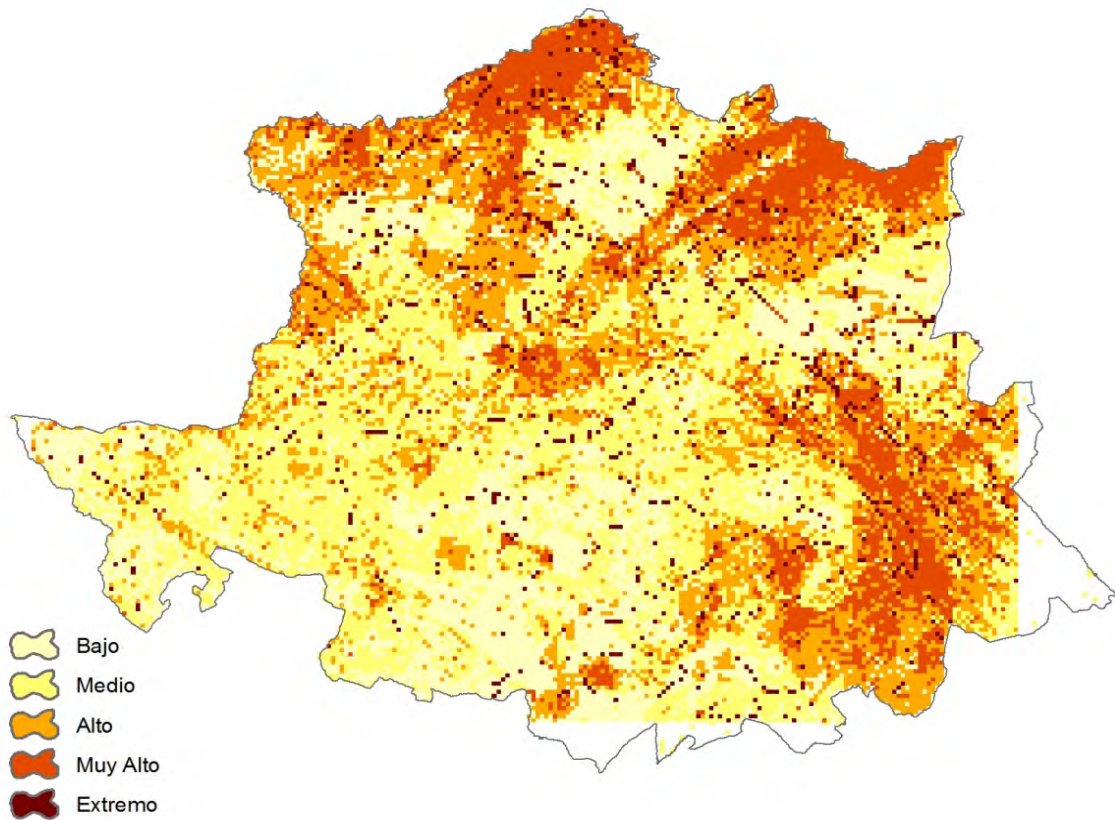


Figura 12. Riesgo de Incendio Forestal

CONCLUSIONES

Como reflexiones finales podemos aportar una serie de conclusiones de tipo metodológico o relacionadas con el objetivo del trabajo, pero también podemos poner de manifiesto otras relacionadas con cuestiones prácticas de la aplicación real y concreta de los Sistemas de Información Geográfica a la resolución de un problema.

En cuanto a las primeras, las relacionadas con el Riesgo de Incendios Forestales a escala provincial, hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- La elaboración de un Mapa de Riesgo de Incendios Forestales debe abordarse desde el conocimiento de la realidad y desde una metodología adaptada a ella, como se pone de manifiesto en la comparación del Mapa de Riesgo del PREIFEX, única referencia al respecto en el área de estudio, y el resultado de la aplicación de nuestra metodología.
- La escala provincial para la elaboración de un Mapa de Riesgo de Incendios es de gran utilidad para la planificación general de la prevención, pero es limitada para la planificación de actuaciones específicas. De aquí se deriva la necesidad de generar Mapas de Riesgos de Incendios a escalas inferiores: comarcal o incluso municipal, donde podremos abarcar multitud de factores y analizar su distribución espacial de forma más concreta.
- Por otro lado, en los resultados obtenidos pone de manifiesto la gran influencia del hombre sobre esta perturbación natural, modificando su frecuencia temporal actuando como elemento desencadenante de las mismas, con todas las implicaciones en cuanto al riesgo que ello supone. La arbitrariedad con la que el hombre actúa es difícilmente integrable en un mapa de riesgo, como se ha podido comprobar en el establecimiento de la metodología, donde este factor sólo ha podido ser escasamente aproximado mediante delimitaciones de la interfaz hombre-forestal (zonas urbanas, carreteras, riesgo histórico, etc.).

Las conclusiones de tipo aplicado son el resultado de la puesta en práctica de una metodología de trabajo real en SIG, destacando las siguientes:

- Una planificación eficiente de la metodología de trabajo, de los datos y fuentes accesibles, así como de los recursos disponibles es la base para que la realización de un trabajo SIG se ajuste a los objetivos. En nuestro caso, la planificación de los datos y cartografía ha adolecido de excesiva confianza, puesto que la existencia de los mismos no garantiza actualmente su accesibilidad.
- La adecuación de la escala de trabajo a los objetivos y el ámbito espacial es otra de las cuestiones esenciales para evitar las divagaciones y concentrar los recursos en tareas con resultados concretos y eficaces.
- Y por último, destacar la necesidad de apostar por un principio de interoperabilidad en cuanto a formatos, puesto que la diversidad de los mismos y su incompatibilidad parcial son factores que actúan en detrimento de la calidad de los trabajos, sobre todo por la gran cantidad de recursos que su transformación requiere.

En definitiva, este trabajo nos ha servido para resolver un planteamiento real con una adaptación metodológica del Riesgo de Incendios Forestales, poniendo en valor la importancia de adaptar los modelos a las situaciones reales. Además nos ha dotado de elementos críticos a la hora de abordar cualquier aplicación SIG, ayudándonos a identificar las limitaciones y capacidades de los datos, las metodologías y, por qué no, de los propios Sistemas de Información Geográfica.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento al Grupo de Investigación en Desarrollo Local y Ordenación Territorial, al equipo UNIGIS, y en especial a Lluís Vicens, por el apoyo prestado en la elaboración de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguado, I. y Camia, A (1998): Fundamentos y utilización de índices meteorológicos de peligro de incendio. *Serie Geográfica*, 7: 49-58.
- Blas Morato, R (2006): *Los incendios Forestales en Extremadura: Análisis Espacio-Temporal (1968-2005)*. Inédito.
- CHUVIECO, E. y MARTÍN, M^a P. (2004): *Nuevas Tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. CSIC, Madrid.
- Chuvieco, E., Salas, F.J., Martínez, J. y Martín, M.P. (1998): Geografía e Incendios Forestales. *Serie Geográfica*, 7: 11-18.
- Chuvieco, E. y Salas, J. (2004): Métodos para la integración de variables de riesgo: el papel de los Sistemas de Información Geográfica. En: Chuvieco, E. y Martín, M.P. (ed.), *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- Cocero, D., Riaño, D. y Chuvieco, E. (1998): Estimación de la humedad de la vegetación usando imágenes de satélite e índices meteorológicos de peligro de incendios forestales. *Serie Geográfica*, 7: 59-72.
- Cocero, D., Riaño, D., Meza, E. y Chuvieco, E. (2004): Cartografía del tipo y estado de los combustibles. En: Chuvieco, E. y Martín, M.P. (ed.), *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- Colegio de Ingenieros de Montes (2004): Incendios en Extremadura en el 2003. *Montes, Revista de ámbito forestal*, 77.
- Comité de Lucha Contra Incendios Forestales: *Apuntes para la Codificación en oficina del Parte de Incendio Forestal*. Inédito
- Comité de Lucha Contra Incendios Forestales: *Instrucciones para rellenar el Parte de Incendio Forestal*. Inédito
- Doctor Cabrera, A.M. (2004): *Territorio e Incendios Forestales*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Junta de Extremadura (2005): *Plan de Lucha contra Incendios Forestales de la Comunidad Autónoma de Extremadura (INFOEX)*.
- Junta de Extremadura (2006): *Plan de Prevención de Incendios Forestales de la Comunidad Autónoma de Extremadura (PREIFEX)*.
- Junta de Extremadura (2006b): *Metodología para la Zonificación del PREIFEX*.
- Principado de Asturias: *Plan de Protección Civil de Emergencias por Incendios Forestales*.

Salas, J. y Chuvieco, E. (1992): ¿Dónde arderá el fuego? Previsión de incendios forestales mediante un SIG. Comunicaciones *1er Congreso de Sistemas de Información Geográfica en la Gestión Territorial*. Asociación Española de Sistemas de Información Geográfica y Territorial.

Vélez Muñoz, R. (1982): *Manual de Predicción del Peligro de Incendios Forestales*. ICONA, Madrid.

Vélez Muñoz, R. (Coord.) (2000): *La Defensa Contra Incendios Forestales, Fundamentos y Experiencias*. Mc. Graw Gill, Madrid.

Domingo, C.; Cristóbal, J.; Ninyerola, M. y Pons, X. (2008): Detección de pautas de estrés hídrico en tres especies forestales de Cataluña mediante imágenes TERRA-MODIS. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la UPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 540-551. ISBN: 978-84-96971-53-0.

DETECCIÓN DE PAUTAS DE ESTRÉS HÍDRICO EN TRES ESPECIES FORESTALES DE CATALUÑA MEDIANTE IMÁGENES TERRA-MODIS

Domingo, C.¹; Cristóbal, J.¹; Ninyerola, M.² y Pons, X.^{1,3}

(1) Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras. Edificio B, Universidad Autónoma de Barcelona, 08193-Cerdanyola del Vallès (Barcelona). Cristina.domingo@uab.cat

(2) Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y de Ecología. Facultad de Biociencias. Edificio C. Universidad Autónoma de Barcelona, 08193-Cerdanyola del Vallès (Barcelona).

(3) Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF). Edificio C, Universidad Autónoma de Barcelona, 08193-Cerdanyola del Vallès (Barcelona).

RESUMEN

Según los datos del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), el cambio climático provocará un aumento general de las temperaturas y una acentuación de los periodos de sequía en zonas mediterráneas, lo cual puede llegar a causar efectos directamente observables en las especies vegetales. El objetivo de este trabajo consiste en detectar pautas de estrés hídrico en zonas con diferente radiación solar para tres especies representativas a nivel forestal de Cataluña (*Pinus sylvestris*, *Quercus humilis* y *Quercus ilex subsp. rotundifolia*) mediante la comparación entre un período sin sequía (2001-2002) y un período de sequía acentuada (2003-2004) usando datos diarios TERRA-MODIS. Para llevar a cabo el análisis se han seleccionado un total de 346 imágenes, de las que se ha calculado índices como el NDVI, el SAVI, el EVI y los componentes del Tasseled Cap (Brightness, Wetness, Greenness).

El análisis ANOVA muestra que aunque *P.sylvestris* y *Q.humilis* presentan una pauta de estrés hídrico similar en zonas con alta radiación, las pautas en zonas sombrías difieren significativamente, indicando que *P.sylvestris* se adapta mejor a periodos de déficit hídrico. En el caso de *Quercus ilex subsp. rotundifolia*, el análisis no demuestra que éste se vea afectado por la sequía. Los resultados también muestran el grado de eficiencia de los índices utilizados, concluyendo que el componente Brightness no parece ser un buen indicador del estrés hídrico en zonas mediterráneas.

Palabras Clave: sequía, estrés hídrico, índice de vegetación, imágenes TERRA-MODIS, Cataluña.

ABSTRACT

According to the data of the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), the climatic change will cause a general increase of the temperatures and an accentuation of the periods of drought in Mediterranean areas, which can cause directly observable effects in vegetal species. The aim of this paper consists in detecting guidelines of water stress in areas with different solar radiation for three representative forest species of Catalonia (*Pinus sylvestris*, *Quercus humilis* and *Quercus ilex subsp. rotundifolia*) through the comparison between a droughtless period (2001-2002) and a period of remarkable drought (2003-2004) using daily data TERRA-MODIS. To carry out the analysis, a total of 346 images have been selected, and indexes such as NDVI, SAVI, EVI and components of the Tasseled Cap (Brightness, Wetness, Greenness) have been calculated.

The analysis of variance (ANOVA) indicates that although *P.sylvestris* and *Q.humilis* present a similar hydric stress response in areas with high radiation, the response in shadowy areas differ significantly, indicating that *P.sylvestris* has a better adaptation to the period of water deficit. In the case of *Quercus ilex subsp. rotundifolia* the analysis does not prove that it is affected by the drought. The results also show the efficiency of the used indexes, concluding that the component Brightness does not seem to be a good indicator of the water stress in the Mediterranean areas.

Key Words: drought, water stress, vegetation index, TERRA-MODIS images, Catalonia.

INTRODUCCIÓN

El clima es uno de los factores que influyen más directamente sobre las especies vegetales definiendo los parámetros hídricos de las comunidades forestales. Cataluña se caracteriza por tener un clima mediterráneo con veranos que presentan estrictas restricciones que sobretodo condicionan la vida de la vegetación. Además, no podemos olvidar que el cambio climático está ampliamente aceptado como una realidad, con un aumento general de las temperaturas y una acentuación de los períodos de sequía. Las evidencias de estos periodos cada vez más frecuentes son directamente observables sobre las especies vegetales, ya que un aumento de la temperatura y una disminución de la precipitación provocan que la evapotranspiración de las plantas sea prácticamente igual a la cantidad de precipitación y, por tanto, se manifieste un déficit hídrico.

Desde diciembre de 1993 hasta septiembre de 1994 Cataluña sufrió un fuerte período de sequía que se consideró sumamente significativo (Martín et al., 1998). En 2003 se inicia el último período de sequía que aún perdura.

Es desde esta perspectiva que se plantea el siguiente análisis, el cual pretende evaluar las herramientas de Teledetección usadas para determinar pautas de estrés hídrico. También pretende poder hacer seguimientos temporales de estas pautas para algunas especies en concreto a través del cálculo de diferentes índices de vegetación que ayudan a comprender el estado fenológico de ésta.

Un primer objetivo de este proyecto es utilizar las técnicas de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica para poder hacer un análisis comparativo de varios índices de vegetación entre dos años sin sequía (2001 y 2002) y entre un año después de un período álgido del último episodio de sequía y un año sin tanta sequía (2001 y 2004) mediante un conjunto de imágenes MODIS correspondientes a estos periodos.

Un segundo objetivo es analizar los cambios a nivel fenológico que manifiesta una misma especie según si está presente en una zona con alta o baja radiación solar, dado que la situación geográfica en la que se encuentran muchas especies puede ser un factor significativo a tener en cuenta en periodos de sequía.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio en este proyecto es Cataluña, de aproximadamente 32000 km² de superficie y unos 580 km de costa. Las coordenadas en UTM huso 31-N del ámbito de estudio son las siguientes:

Xmín: 244000m Xmáx: 535000m

Ymín: 4481000m Ymáx: 4763000m

Cataluña limita al norte con Francia y Andorra, al sur con Valencia y al oeste con Aragón. Dispone de una gran riqueza climática debido a su orografía cuya altitud media es de unos 640 m cubriendo un rango de 0 m a 3000 m. La orografía fragmentada en cordilleras y depresiones y las acentuadas orientaciones son las causantes de contrastes climáticos, pudiendo así dividir el clima catalán en cinco grandes grupos:

- clima mediterráneo de costa, que abarca gran parte del país, con un verano largo y caluroso y un invierno suave con pocas lluvias;
- clima mediterráneo de interior que cubre todas las comarcas de interior con veranos e inviernos de temperaturas severas;
- clima mediterráneo de montaña que incluye las comarcas pirenaicas (excepto las que tienen clima atlántico) con veranos lluviosos y temperaturas frescas e inviernos fríos que se caracterizan por las inversiones térmicas de los valles;
- zona de transición entre clima mediterráneo y clima atlántico que cubre un área muy pequeña y tiene características de ambos climas;
- y clima atlántico de montaña que incluye la parte del Pirineo aranés con lluvias regulares todo el año.

Esta diversidad climática permite la existencia de una gran diversidad de paisajes naturales, caracterizada por un gran mosaico de comunidades vegetales. Generalmente, en las tierras bajas encontramos matorrales y pinares junto con encinares, carrascales y maquias. A altitudes intermedias conviven bosques caducifolios de robles y hayas con bosques de pino silvestre, mientras que en las zonas alpinas encontramos bosques de pino negro y abetales.

MATERIAL Y METODOS

La metodología de este proyecto ha consistido en la integración de las variables que pueden ayudar a determinar el estado fenológico de la vegetación en una base de datos, con la finalidad de poder hacer consultas y posteriores análisis. El material usado es el siguiente:

- Inventario Ecológico y Forestal de Cataluña (IEFC).
- Mapa de Hábitats de Cataluña (MHC).
- Atlas Climático Digital de Cataluña.

Un total de 2343 imágenes TERRA MODIS diarias del producto de Reflectancias (MOD09 *Surface Reflectance*) tomadas entre abril de 2000 y diciembre de 2006. Este producto ya tiene aplicado una corrección geométrica y una corrección atmosférica (Vermote et al. 1999). Estas imágenes tienen una resolución espacial de 500 m.

Un total de 2343 imágenes TERRA MODIS diarias del producto de Temperatura de Superficie Terrestre (TST) (MOD11A1 *Land Surface Temperature and Emissivity*) tomadas entre abril de 2000 y diciembre de 2006. Estas imágenes tienen una resolución espacial de 1000 m.

El satélite TERRA, que lleva el instrumento MODIS a bordo, es un satélite heliosíncrono, que orbita a una altura de unos 705 km y tiene un *swath* de unos 2330 km. La hora de paso del satélite sobre nuestra zona de estudio se sitúa entre las 10:00 UTC y las 11:00 UTC. El sensor MODIS tiene 36 bandas espectrales que engloban unas longitudes de onda desde 0.4 μm a 14.4 μm . Las dos primeras bandas tienen una resolución espacial de 250 m, de la banda 3 a la 7 la resolución espacial es de 500 m y el resto de bandas tienen una resolución más baja, 1000 m (ver Tabla 1).

Tabla 1. Resolución espectral, radiométrica y espacial del sensor MODIS

Bandas	Longitud de onda (μm)	Resolución espacial (m)	Bandas	Longitud de onda (μm)	Resolución espacial (m)
1	0.620 - 0.670	250	11	0.526 - 0.536	1000
2	0.841 - 0.876	250	12	0.546 - 0.556	1000
3	0.459 - 0.479	500	13	0.662 - 0.672	1000
4	0.545 - 0.565	500	14	0.673 - 0.683	1000
5	1.230 - 1.250	500	15	0.743 - 0.753	1000
6	1.628 - 1.652	500	16	0.862 - 0.877	1000
7	2.105 - 2.155	500	17	0.890 - 0.920	1000
8	0.405 - 0.420	1000	18	0.931 - 0.941	1000
9	0.438 - 0.448	1000	19	0.915 - 0.965	1000
10	0.483 - 0.493	1000	20-36	3.660-14.385	1000

Podemos estructurar la metodología utilizada en este estudio en tres fases:

Descarga, importación, georeferenciación y procesamiento de las imágenes TERRA-MODIS

Se han descargado un total de 2343 imágenes desde el servidor de la USGS (*United States Geological Survey*) (<http://elpdl03.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/index.html>). Se ha desarrollado una aplicación en IDL para importar las imágenes a formato MiraMon y se han georeferenciado, cambiado la proyección y recortado para el ámbito de estudio. Además se ha aplicado una máscara de nubes calculada a partir de la TST y otra de nieves extraída del cálculo del *Normalized Difference Snow Index* (NDSI) con un umbral mayor a 0.4 (Dozier, 1989; Cea et al., 2007). Este sensor presenta un ángulo de escaneo o campo de visión total muy amplio que provoca que haya una distorsión panorámica muy acentuada, en aumento cuanto más nos alejemos del nadir de la imagen. Como consecuencia, el tamaño del pixel varía sensiblemente desde el centro hacia los extremos de la imagen, provocando un efecto de deformación geométrica que puede llegar a crear píxeles hasta 6 veces más amplios y 4 veces más largos. Este efecto se llama *bow tie effect* (Yang, 2004) (ver Figura 1).

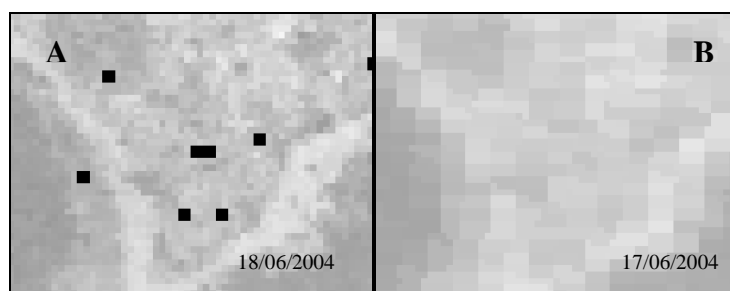


Figura 1.Detalle de la distorsión provocada por el *bow tie effect* de las imágenes TERRA MODIS en una misma zona.A) sin distorsión B) con distorsión.

Debido a eso, las 2343 imágenes se han revisado individualmente y clasificado en distorsionadas o no. Al mismo tiempo se ha evaluado el porcentaje de la cubierta de nubes en base a una interpretación visual ya que es un proceso difícil de automatizar. Según Cracknell y Hayes (1997) es una de las formas más eficaces ya que el intérprete puede incluir una serie de criterios espectrales y espaciales que son complicados de definir en términos algorítmicos. Se ha seleccionado aquellas imágenes no distorsionadas que presentan una cubierta nubosa igual o menor al 50% de la imagen. Finalmente la cantidad de imágenes útiles ha quedado reducida a 702 (ver Tabla 2).

Tabla 2. Selección final de las imágenes MODIS. En cursiva y rojo, las imágenes analizadas.

	Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Total
	Total imágenes disponibles	243	345	319	351	362	363	360	2343
Imágenes filtradas por mes	1	-	9	6	5	7	8	3	
	2	-	13	8	3	7	5	3	
	3	-	11	3	12	6	9	6	
	4	8	15	8	11	9	8	7	
	5	9	11	10	11	9	9	7	
	6	12	7	14	13	13	7	10	
	7	14	13	12	12	7	10	11	
	8	7	10	13	13	10	10	9	
	9	12	14	13	7	9	10	5	
	10	5	12	8	9	10	7	4	
	11	11	11	9	2	10	6	3	
	12	10	6	7	2	6	8	3	
	Total filtrado	88	<i>132</i>	<i>111</i>	100	<i>103</i>	97	71	702

A partir de los productos TERRA MODIS también se han calculado los siguientes índices de vegetación para todas las fechas:

- *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI): Desarrollado por Rouse et al. (1973), se define como:

$$NDVI = (\rho_{IRC} - \rho_R) / (\rho_{IRC} + \rho_R) \quad [1]$$

donde la banda IRC es infrarrojo cercano, R es rojo y ρ es reflectancia.

Un aspecto interesante de este índice frente al cociente simple es que toma valores entre -1 y 1, lo cual facilita notablemente su interpretación.

- *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI): Entre los muchos factores que afectan notablemente al comportamiento del NDVI, se encuentra la proporción de vegetación/suelo observada por el sensor. Para incluir explícitamente el factor suelo, Huete et al. (1992) sugirieron incluir un parámetro L en la fórmula [1] que minimizara el efecto del suelo sobre este índice.

$$SAVI = \left\{ (\rho_{IRC} - \rho_R) / (\rho_{IRC} + \rho_R) + L \right\} (1 + L) \quad [2]$$

donde L es una constante que depende del tipo de suelo. En nuestro caso se ha fijado a 0.5.

- *Enhanced Vegetation Index* (EVI): Este índice optimiza la señal de la vegetación (Liu y Huete, 1995).

$$EVI = G \left\{ (\rho_{IRC} - \rho_R) / (\rho_{IRC} + C1\rho_R - C2\rho_B + L) \right\} \quad [3]$$

donde B es la banda del azul, C1 igual a 6 y C2 igual a 7.5 (coeficientes que intentan corregir los efectos de dispersión atmosférica) y G es un factor de ganancia, en nuestro caso equivalente a 2.5.

- *Transformación Tasseled Cap*: En esta transformación se obtienen nuevas bandas por combinación de las originales, con el fin de acentuar algunos rasgos de interés de las imágenes. Los coeficientes aplicados en la transformación correspondientes al sensor MODIS se pueden consultar en Xiaoyang Zhang et al. (2002). Se distinguen tres componentes:
 - *Brightness*: manifiesta los cambios en la reflectividad total de la imagen. También conocido como índice de brillantez.
 - *Wetness*: relacionado con el contenido de agua de la vegetación y del suelo. También conocido como índice de humedad.
 - *Greenness*: relacionado con la actividad vegetativa. También conocido como índice de verdor.

Selección de las áreas de interés para las diferentes especies forestales

La selección de las áreas de estudio se ha llevado a cabo mediante el MHC y IEFC (ver Figura 2). Primeramente se han seleccionado aquellos puntos del IEFC donde el recubrimiento de la especie principal es mayor o igual al 70% y el porcentaje de área basal es mayor o igual al 70%. Del MHC se han seleccionado aquellos polígonos donde la especie principal tiene un recubrimiento mayor o igual al 70%. Se ha usado este criterio con la finalidad de obtener zonas de vegetación con un alto grado de homogeneidad. Se ha creado un tesoro donde se ha unificado la leyenda del MHC y del IEFC y se han combinado ambas capas para poder seleccionar posteriormente aquellos polígonos que coinciden en el campo especie. Seguidamente se ha creado una malla vectorial

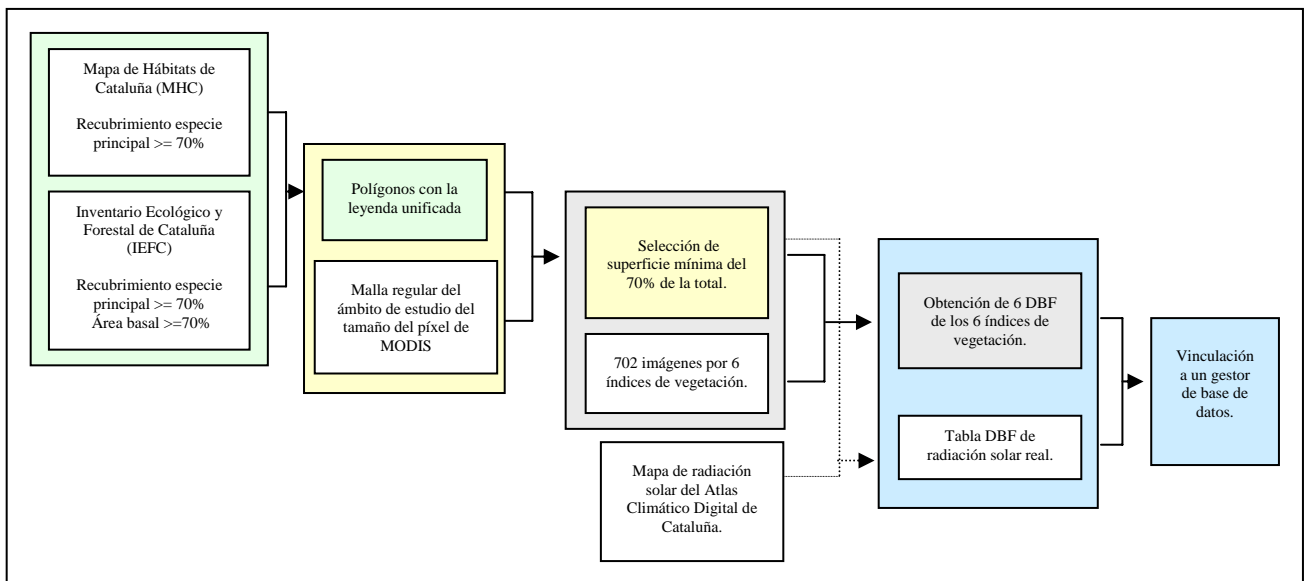


Figura 2. Esquema donde se muestran los procesos y combinaciones utilizados en la metodología.

del ámbito de estudio a partir de las imágenes MODIS, donde cada píxel corresponde a un polígono cuadrado de 500 m por 500 m, 250.000 m² de superficie. Esta malla regular se ha combinado con la selección anterior (ver Figura 3). Para el nuevo vector de polígonos, que ha dejado de ser regular, se ha determinado un criterio de área mínima representativa de polígono del 70% del total de la superficie. De esta manera, todos aquellos polígonos con un área menor a 175.000 m² han sido rechazados por considerarse poco representativos.

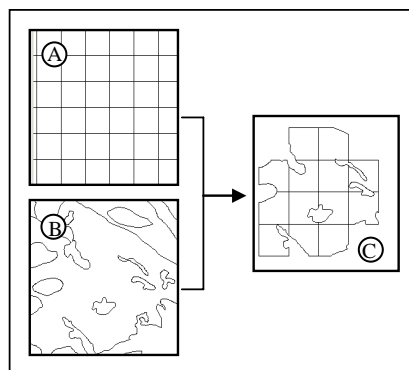


Figura 3. Combinación de la malla con el primer vector de polígonos, obteniéndose el nuevo vector de polígonos irregulares. A) Malla regular, B) Polígonos con la leyenda unificada, C) Resultado finales.

Preparación de la base de datos de los índices de vegetación, de los datos climáticos y selección de las especies

Para preparar la base de datos, ha sido necesario combinar la capa de polígonos con cada una de las imágenes que tenemos para cada índice. Debido a la cantidad de imágenes (702 imágenes por 6 índices) y el tiempo que supone una combinación, este proceso se ha automatizado, obteniéndose como resultado 6 tablas DBF correspondientes a cada índice (ver Figura 2).

Paralelamente, de los productos que ofrece el Atlas Climático Digital de Cataluña se ha descargado el correspondiente a la media anual de radiación solar real. Esta imagen también se ha combinado con la capa de polígonos creada a partir de la segunda combinación explicada en el punto 2 de esta sección (ver Figura 2). Da-

do que la resolución espacial del mapa de radiación solar es de 180 m se ha calculado la media de la radiación solar para cada polígono.

Se ha decidido hacer el análisis para 3 especies: *Quercus humilis* (roble pubescente), *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* (carrasca) y *Pinus sylvestris* (pino silvestre). El *Pinus sylvestris* se ha escogido porque es una especie perennifolia muy representativa en nuestra área de estudio que conforma bosques eurosiberianos en pisos montanos de grandes extensiones. En Cataluña el 18% del total de la masa forestal corresponde a esta especie. Por otra parte, el *Quercus humilis* es una especie también presente en zonas eurosiberianas, pero característica de regiones de transición en zona mediterránea y, a diferencia del pino silvestre, es marcescente. Finalmente, el *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* conforma comunidades forestales de tipo totalmente mediterráneo continental.

Se ha hecho una consulta del rango de radiación solar real para cada especie y se ha calculado la media y la desviación estándar con la finalidad de poder dividir los polígonos entre poco irradiados y muy irradiados, restando o sumando una desviación estándar a la media (ver Tabla 3).

Tabla 3. Medias, desviaciones estándar y rangos de radiación solar para cada especie. Unidades: $10 \text{ kJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$

Especie	Media	Desv. est.	Rango	
			Baja radiación	Alta radiación
<i>Pinus sylvestris</i>	1318.96	170.62	(818 , 1148]	[1489 , 1702)
<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>rotundifolia</i>	1451.46	120.14	(966 , 1331]	[1571 , 1702)
<i>Quercus humilis</i>	1447.67	143.43	(946 , 1304]	[1591 , 1652)

A continuación, sobre un mapa de orientaciones se han seleccionado manualmente aquellos polígonos que se encuentran en las solanas y aquellos que están en umbría. Para cada especie han sido seleccionados un número de polígonos diferente para un bajo y un alto nivel de radiación solar (ver Tabla 4 y Figura 4).

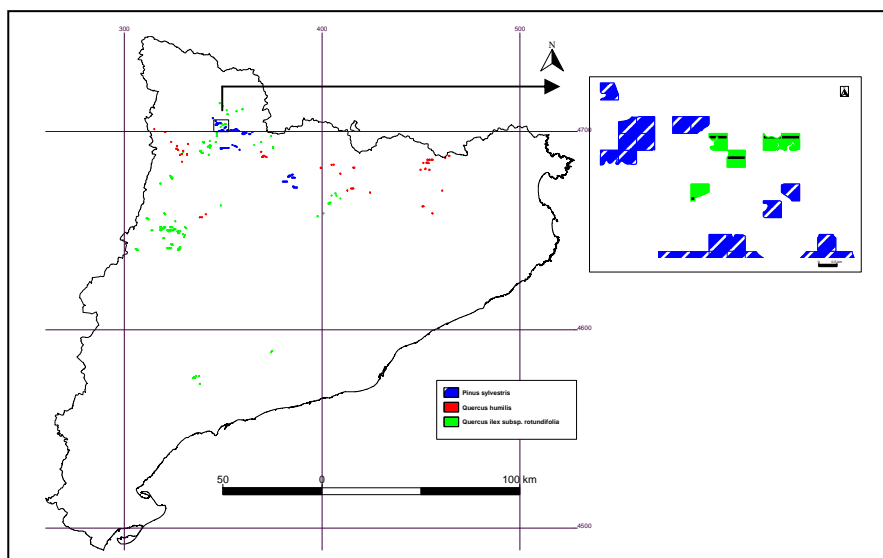


Figura 4. Distribución de los polígonos seleccionados para las tres especies de estudio con una zona en detalle.

Tabla 4. Numero de polígonos seleccionados por especie y extensión de su superficie total en función de la radiación solar.

Especie	Nº. polígonos		Superficie total (ha)
	Baja radiación	Alta radiación	
<i>Pinus sylvestris</i>	47	36	1890
<i>Quercus ilex subsp. rotundifolia</i>	78	52	2842
<i>Quercus humilis</i>	32	19	1064

Análisis estadístico

Durante el 2001 y el 2002 no se registró ningún periodo de sequía intenso, pero en el año 2003, Cataluña sufrió una importante sequía que afectó, entre otras, a la comunidad forestal. Es por esta razón que se ha escogido hacer el análisis para el 2004, un año después de la fuerte sequía, para poder evaluar así los efectos de ésta. Dado que se pretende evaluar pautas de estrés hídrico, se ha escogido las imágenes correspondientes a 2001, 2002 y 2004, un total de 346 de las 702 iniciales.

Así pues, se ha calculado, para cada polígono, las medias anuales de los índices para los años 2001, 2002 y 2004, separándolos entre polígonos con baja radiación solar y alta radiación solar.

Con la ayuda del programa estadístico SPSS, se ha observado si hay una diferencia significativa entre las medias de las zonas de alta y baja radiación entre los años 2001-2002 y 2001-2004 a través de un análisis de la varianza (ANOVA) con una significación de $\alpha=0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pino silvestre (*Pinus sylvestris*)

Los píxeles de *P.sylvestris* que se han seleccionado, tienen una extensión aproximada de unas 2000 ha y un rango de radiación solar que va desde 818 a 1702 $10 \text{ kJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. Una vez calculada la media y la desviación estándar, se ha establecido un umbral de baja radiación hasta 1148 $10 \text{ kJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ y un umbral de alta radiación a partir de 1489 $10 \text{ kJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (ver Tabla 3).

Tal como se puede consultar en la Tabla 5, en las zonas con baja radiación sólo el índice *Wetness* es significativo tanto para la comparación 2001-2002 como para la comparación 2001-2004. Eso indicaría que esta especie, si se encuentra en zonas sombrías se adapta favorablemente al estrés hídrico causado por una sequía como la del 2003.

Si miramos el resultado en las zonas muy irradiadas, se observa que para los años 2001-2002 y 2001-2004, continúa siendo significativo el índice *Wetness* y, además, el SAVI. Este hecho nos haría pensar que también se adapta favorablemente al estrés en estas zonas si no fuera porque, para los años 2001-2004, hay una diferencia significativa también en los índices *Greenness* y NDVI. Es decir, cuando esta especie se encuentra en zonas con alta radiación solar, la presencia de un año de sequía provoca que sufra un estrés hídrico lo bastante importante para que se vea reflejado en los índices de vegetación y, por lo tanto, detectable mediante Teledetección. Gracias a este análisis, podemos decir que el *P.sylvestris* es una especie sensible a la sequía, especialmente si se encuentra en zonas donde recibe alta radiación solar. Eso confirma el hecho de que se defina el pino silvestre como una especie que soporta muy bien la sombra pero que es muy exigente respecto a los requerimientos de agua (IEFC, 2004).

Carrasca (*Quercus ilex* subsp. *rotundifolia*)

La selección de la carrasca, de aproximadamente 3000 ha, engloba una radiación solar desde 966 hasta 1702 $10 \text{ kJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. Se ha establecido el umbral de baja radiación hasta 1331 $10 \text{ kJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ y el de máxima radiación desde 1571 $10 \text{ kJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (ver Tabla 3). Si comparamos las medias con una ANOVA (ver Tabla 5), vemos que para ninguno de los índices evaluados hay unas diferencias significativas, ni para los años 2001-2002 ni para el 2001-2004; ni tampoco para las zonas con baja o alta radiación. Aunque en este caso no se han podido detectar unas claras evidencias de estrés mediante Teledetección, no podemos afirmar que esta especie no sufra estrés hídrico en estas condiciones.

Tabla 5. Nivel de significación del análisis de variancia para cada especie y situación para un intervalo de confianza del 95%. Diferencias significativas en cursiva y rojo.

	Índice de vegetación	Sig. Baja radiación		Sig. Alta radiación	
		2001-2002	2001-2004	2001-2002	2001-2004
<i>Pinus sylvestris</i>	Brightness	0.121	0.645	0.119	0.163
	Greenness	0.337	0.615	0.260	0.000
	Wetness	0.000	0.000	0.000	0.000
	EVI	0.196	0.879	0.350	0.118
	NDVI	0.318	0.263	0.188	0.044
	SAVI	0.367	0.708	0.000	0.001
<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>rotundifolia</i>	Brightness	0.976	0.762	0.518	0.560
	Greenness	0.682	0.980	0.415	0.840
	Wetness	0.391	0.767	0.952	0.207
	EVI	0.442	0.663	0.227	0.473
	NDVI	0.292	0.438	0.414	0.068
	SAVI	0.324	0.767	0.279	0.308
<i>Quercus humilis</i>	Brightness	0.167	0.254	0.532	0.418
	Greenness	0.531	0.043	0.575	0.081
	Wetness	0.898	0.611	0.634	0.981
	EVI	0.265	0.008	0.763	0.030
	NDVI	0.761	0.027	0.212	0.466
	SAVI	0.409	0.008	0.333	0.047

Roble pubescente (*Quercus humilis*)

El roble pubescente es una especie muy presente en el paisaje catalán pero muy poco dominante debido a la práctica silvícola que ha reducido enormemente su dominancia en los bosques de Cataluña (IEFC, 2004). Este hecho nos ha limitado a la hora de seleccionar los polígonos. Para esta especie, pues, el análisis se hace con una extensión de poco más de 1000 ha. El rango de radiación solar donde encontramos esta especie es desde 946 hasta 1652 $10 \text{ kJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. Se hace notar que, de entrada, el máximo de radiación es sensiblemente menor que el de las otras especies, mientras que el mínimo es sensiblemente mayor, hecho que disminuye el rango de radiación global para esta especie. El umbral establecido para baja radiación se sitúa en 1304 $10 \text{ kJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ y el umbral para alta radiación se ha establecido a partir de 1591 $10 \text{ kJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (ver Tabla 3). Esta especie no presenta diferencias significativas entre 2001-2002 ni para baja ni para alta radiación (ver Tabla 5). Contrariamente, si observamos el resultado del análisis entre 2001-2004, los polígonos con baja radiación presentan índices con diferencias más significativas que los polígonos con alta radiación. Este resultado nos indica que, frente a una sequía, esta especie responde mejor en las zonas donde hay más radiación que en las zonas donde hay menos, ya que los índices *Greenness* y NDVI sólo presentan diferencias significativas en las zonas menos irradiadas. Esto

indicaría una divergencia adaptativa dentro de una misma especie, hecho que incrementaría su importancia dentro de nuestros bosques. Este patrón de comportamiento es justo el contrario del que nos encontramos con el pino silvestre. Este resultado podría estar sesgado debido al número de muestras ya que tal como se aprecia en la Tabla 4, el número de muestras en zonas de baja radiación es el doble que en las zonas de alta radiación. Para hacer el análisis más equilibrado, este se podría repetir aumentando el número de datos de la zona de alta radiación.

Análisis de sensibilidad de los índices de vegetación

Si se observa detalladamente la Tabla 5, se puede evaluar la sensibilidad de los índices y determinar la utilidad de éstos. De entre todos, el *Wetness* y el SAVI parecen ser más sensibles a la radiación recibida que al déficit hídrico en sí. Estos índices nos ayudan a determinar en qué zonas la respuesta de cada especie es mejor y también ayudan a establecer posibles divergencias adaptativas. Los índices *Greenness* y NDVI son más sensibles al déficit hídrico entre años y nos ayudan a detectar mejor las señales de estrés hídrico que sufren estas especies. El índice EVI, aunque más débilmente, seguiría esta línea. En cambio el índice *Brightness* en ningún caso presenta significación y la información que nos da no es una clara indicadora de resultados. El índice *Brightness* parecería, pues, poco interesante a la hora de aportar información en relación a la sequía. Esto podría ser debido a que este índice es el resultado del promedio de todas las bandas (Crist y Cicone, 1984) y, por lo tanto, no hay ningún tipo de selección a priori.

CONCLUSIONES

El presente proyecto ha llevado a cabo un estudio de Teledetección aplicado a la detección y seguimiento de pautas de estrés hídrico en tres especies forestales. El propósito ha sido, por un lado, la evaluación de la utilidad de algunos índices de vegetación como indicadores de estrés hídrico, y, por otro lado, el análisis de la influencia de la radiación solar en una misma especie durante un período de sequía.

En primer lugar, la metodología seguida ha permitido simplificar los datos y la coherencia de estos. Usar tanto los datos provenientes del MHC como del IEFM ha contribuido a verificar que los puntos escogidos correspondan realmente a cada especie en cuestión, eliminando así posibles incoherencias. Del mismo modo, la selección inicial de los puntos y polígonos del IEFM y del MHC con recubrimiento mayor o igual al 70% también ha contribuido al filtrado de las zonas de vegetación, obteniendo un alto grado de homogeneidad en estas.

En segundo lugar, la resolución temporal diaria con la que se ha empezado a trabajar ha permitido obtener unas medias anuales de los índices muy representativas, que posteriormente y en futuras líneas de investigación podrían ayudar a tener una clara muestra de la evolución de los índices de vegetación.

En tercer lugar, el hecho de crear una malla del tamaño del píxel de MODIS ha facilitado el tratamiento de los datos. Este método también ha permitido la aplicación del segundo filtro de homogeneidad, estableciendo el criterio de área mínima representativa de polígono para cada especie del 70% de la superficie total.

Las respuestas a los análisis expuestos han determinado una adaptación favorable a las zonas sombrías de *Pinus sylvestris* y la exigencia con respecto al requerimiento de agua de esta especie.

Por otra parte, aunque el análisis no presente diferencias significativas para *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia*, no podemos afirmar que ésta especie no se vea afectada por la sequía.

En el caso de *Quercus humilis*, éste presenta unas diferencias más significativas entre los periodos de zonas de baja radiación, hecho que indicaría menor adaptación de la especie en estas zonas.

Finalmente, este análisis también ha enfatizado la utilidad de los índices que se ha examinado. Se ha visto que en ninguno de los resultados, el índice *Brightness* obtenido de la transformación de *Tasseled Cap* ha presentado información significativa. Eso lo nominaría a ser descartado en posteriores análisis. En cambio, los índices *Greenness*, NDVI y EVI son sensibles a las señales de estrés hídrico, mientras que el índice *Wetness* y el SAVI son sensibles a la discriminación de la radiación solar recibida en condiciones de sequía.

A nivel metodológico, se podría mejorar la resolución espacial de las imágenes y trabajar con imágenes LANDSAT 5-TM de resolución de 30 m en el visible e infrarrojo y de 120 m en el térmico. Sin embargo, el beneficio obtenido por una mayor resolución espacial estaría en detrimento de una importante resolución temporal, ya que este satélite tiene un periodo de revisita de la zona de estudio de 16 días, en el mejor de los casos.

El número de índices usados podría ampliar y incluso cambiar alguno. Un posible índice interesante a analizar sería el Grado de Estrés Diario (GED) calculado a partir de la diferencia entre la TST y la temperatura del aire al paso del satélite.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a Laia Núñez por su contribución en este estudio durante el proceso de descarga y selección de imágenes.

REFERÉNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cea, C; Cristóbal, J y Pons X (2007): An improved methodology to map snow cover by means of Landsat and MODIS imagery. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. IGARSS 2007, pp. 4217-4220.
- Cracknell, A.P y Hayes, L.W.B. (1997): *The Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)*. Taylor & Francis, Londres.
- Crist, Eric P.; Cicone, Richard C.; (1984) A Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data: The TM Tasseled Cap. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions*, 22 (3): 256-263
- Dozier, J. (1989): Spectral Signature of Alpine Snow Cover from the Landsat Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*, 28: 9-22.
- Dytham, C. (2005): *Choosing and using statistics. A biologist's guide*. Blackwell Publishing, Oxford. 248pp.
- Gracia,C; Burriel, J.A.; Ibàñez, J.; Mata, T. y Vayreda, J. (2004): *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Mètodes*. CREA, Bellaterra, Barcelona.
- Liu, H. Q., y Huete, A. R. (1995): A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 33: 457-465.
- Martín, M.P.; Chuvieco, E.; Aguado, I. (1998): La incidencia de los incendios forestales en España. *Serie Geográfica*, 7: 23-36.
- Ninyerola, M., Pons, X. y Roure, J. (2000): A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *Int. J. of Climatology*, 20: 1823-1841.
- Ninyerola, M. (1997): Modelització climatològica de la radiació solar, la temperatura i la precipitació a través d'un Sistema d'Informació Geogràfica. (Tesina), Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia.

- Pons, X. (2004): MiraMon. Sistema d'Informació Geogràfica i software de Teledetecció. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, CREA. Bellaterra, Barcelona.
- Pons, X. (1996): Estimación de la Radiación Solar a partir de modelos digitales de elevaciones. Propuesta metodológica. En: Juaristi, J. y Moro, I. (eds.), *VII Coloquio de Geografía Cuantitativa, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*. Vitoria-Gasteiz.
- Rouse J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. y Deering, D.W. (1973): Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Third ERTS Symposium*. NASA SP-351, I: 309-317.
- Vermote, E.F. y Vermeulen, A. (1999): Atmospheric correction algorithm: spectral reflectances (MOD 09) Version 4.0.: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod08.pdf
- Yang, W. y Di, L. (2004): An accurate and automated approach to georectification of HDF-EOS swath data, *Photogram. Eng. And Rem. Sens.* 70, 397-40.
- Zhang, X., Schaaf, C.B., Friedl, M.A., Strahler, A.H., Gao, F. y Hodges, J.C.F. (2002): MODIS Tasseled Cap Transformations and its Utility. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS '02*. IEEE International, 2: 1063-1065.
- Atles Climàtic Digital de Catalunya (2001): <http://magno.uab.es/atles-climatic/index.htm> [Página visitada el día 16/08/2007]
- EOS Data Gateway: <http://elpld03.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/index.html> [Página visitada el día 06/07/2007]

Domínguez Bravo, Javier; Pinedo Pascua, Irene y Augusto González, Jorge (2008): Herramientas SIG para la integración de recursos de energías renovables en electrificación rural. INTIS-GIS. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 552-563. ISBN: 978-84-96971-53-0.

HERRAMIENTAS SIG PARA LA INTEGRACIÓN DE RECURSOS DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ELECTRIFICACIÓN RURAL. INTI-GIS

Domínguez Bravo, Javier¹; Pinedo Pascua, Irene¹ y Augusto González, Jorge²

(1) Ministerio de Ciencia e Innovación. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Departamento de Energía. División de Energías Renovables. Av. Complutense, 22. 28040, Madrid (España). javier.dominguez@ciemat.es

(2) Universidad Nacional de Tucumán, UNT-FACET, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Av. Independencia 1800, 4000, S.M. de Tucumán, (Argentina), jgonzalez@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

A mediados de la pasada década, la Comunidad Europea financió el proyecto de investigación SOLARGIS. Este proyecto supuso la confirmación del gran valor que la perspectiva territorial podía aportar a los proyectos de energías renovables y el enorme potencial de los SIG para la integración de las energías renovables en los proyectos de electrificación rural.

Desde entonces, CIEMAT mantiene una línea de investigación para la aplicación de SIG en la integración regional de energías renovables, dentro de la cual, se ha desarrollado un fecundo proceso de rediseño y aplicación de la metodología SOLARGIS. Este trabajo ha convertido a nuestra institución en un referente para muchas personas interesados en superar las barreras para la integración de estas fuentes energéticas. En esta línea, los contactos con Iberoamérica han sido muy importantes y han derivado en proyectos formativos y de transferencia de conocimiento así como en el desarrollo de proyectos nacionales.

En la actualidad, nuestro equipo está trabajando en lo que denominamos Proyecto INTIGIS. Este proyecto persigue dotar a estas herramientas de un carácter mucho más flexible y dinámico, de forma tal que su aplicación se pueda universalizar aprovechando las enormes ventajas que en la actualidad nos ofrecen las Tecnologías de la Información Geográfica.

Palabras Clave: desarrollo sostenible, electrificación rural, energías renovables, sistemas de información geográfica, SOLARGIS.

ABSTRACT

In the middle nineties, the European Union decided to fund SOLARGIS research project. This project confirmed the added value that spatial perspective gives to renewable energy projects and also the GIS great potential in rural electrification projects supporting renewable energy integration.

GIS and renewable energy integration has been a research area at CIEMAT since then, within which an important effort on redesigning and applying SOLARGIS methodology has been done. This experience has turned our institution into a reference point to many people working on strategies for overcoming renewable energy integration barriers. The contacts made with Latin-America have been very numerous and have led to a significant learning experience and knowledge transfer as well as the development of national projects.

Nowadays, our team is working in what we call IntiGIS project. The aim of this project is to provide the analysis tools we use with more flexibility and dynamism, broadening its application possibilities based on the huge chances given by Geographical Information Technologies.

Key Words: sustainable development, rural electrification, renewable energies, geographical information systems, SOLARGIS.

INTRODUCCIÓN

Según las conclusiones alcanzadas por el World Energy Outlook, (IEA, 2006) , más de 1.600 millones de personas en países en vías de desarrollo no tienen acceso a la electricidad en sus hogares, lo cual se corresponde con casi un cuarto de la población mundial total. La electricidad es indispensable en la mayoría de las actividades diarias. El alumbrado, la refrigeración y la posibilidad de utilizar electrodomésticos en los hogares constituyen un requisito esencial en la mejora de las condiciones de vida. Las comunidades sin electrificar se sitúan normalmente en lugares remotos, de difícil acceso y siguiendo un patrón disperso. En muchos de estos casos, la conexión a la red eléctrica constituye una opción inviable. Sin embargo, la generación de electricidad basada en fuentes renovables de energía se convierte en una solución de gran potencial, económica y técnicamente factible, capaz de satisfacer la demanda existente.

La correcta integración de las energías renovables pasa por la evaluación de la realidad geográfica donde se van a implantar, incluyendo en este análisis, aspectos sociales, ambientales y económicos. En este marco, en el que la variable espacial se convierte en la constante común, la Geografía se presenta como una disciplina sintética y multidisciplinar capaz de valorar el sistema en su conjunto, y de generar un valor añadido. La Geografía cuenta además con los métodos y las herramientas idóneas para realizar análisis de este tipo. Entre ellos, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que ya han demostrado su validez y adecuación en el campo de la integración de las energías renovables, y que constituyen una herramienta fundamental en estudios de localización de emplazamientos, planificación regional, evaluación de impactos, análisis socioeconómicos, etc.

La caracterización espacial de las energías renovables muestra la enorme variabilidad espacio-temporal de estas fuentes frente a la distribución de los combustibles fósiles. Esta distribución de las energías renovables es sumamente dispar entre las distintas fuentes. Esta disparidad, sin embargo, hace que en prácticamente cualquier lugar podamos contar con al menos una fuente de carácter autóctono. Esta riqueza de las renovables implica por otro lado un nivel de complejidad del sistema mucho mayor que el abastecimiento por fuentes convencionales caracterizado fundamentalmente por la especialización geográfica entre oferta y demanda, con un modelo de generación concentrado y grandes centros de consumo distantes de los recursos y de la generación. La heterogeneidad espacial de las fuentes renovables hace que se adecuen especialmente, en términos de producción de electricidad, tanto a la resolución de problemas de electrificación rural como a la generación distribuida de electricidad. Por ello, la utilización de los SIG es muy adecuada para el estudio de estas facetas dada la gran variabilidad y complejidad del sistema oferta-demanda de energía basado en fuentes renovables, lo cual, viene avalado por la enorme literatura con la que podemos contar al respecto (Dominguez, *et al.*, 2007) .

Desde esta perspectiva, el artículo que aquí presentamos aborda la metodología desarrollada y aplicada por nuestro grupo en la electrificación rural con renovables así como las principales perspectivas en el desarrollo de nuestro trabajo.

ANTECEDENTES

Entre 1994 y 1996, un consorcio de centros de investigación europeos, coordinados por ARMINES, y bajo el paraguas del Proyecto JOULE de la Comisión Europea, desarrollaron el proyecto SOLARGIS, que podemos considerar como la base tanto de nuestra metodología como de la línea de investigación que el CIEMAT arranca en esos momentos.

Además, otras experiencias en este campo por parte de grupos ajenos al proyecto SOLARGIS han contribuido a reforzar la idea de la aplicación de las TIG en electrificación rural con energías renovables.

Solargis

El proyecto SOLARGIS (*Integration of renewable energies for decentralized electricity production in regions of Euraean Economic Community and developing countries*) fue financiado por la UE y desarrollado dentro del programa JOULE II (Solargis-Team, 1996) . Este proyecto fue coordinado por el *Centre d'Energétique Armines* (Francia) y en él participaron varios centros europeos relacionados con las energías renovables: *Conphoebus* (Italia), *CIEMAT* (España), *CRES* (Grecia), *INESC* (Portugal), *RAL* (Reino Unido) y

NMRC (Irlanda). Los objetivos principales del proyecto eran: la demostración del valor de la metodología SIG para desarrollar la implantación de Energías Renovables en la electrificación descentralizada; la aplicación de esta metodología en varias áreas piloto; la recolección de datos para su aplicación en el SIG y el desarrollo de herramientas para determinar el potencial de los sistemas de energías renovables a partir de los datos iniciales. (Dominguez, 1996)

La metodología SOLARGIS para el análisis del potencial de electrificación rural está basada en una comparación del coste, píxel a píxel, del kWh producido por los sistemas incluidos en el análisis tanto renovables como no renovables. Los sistemas considerados son:

- Sistemas individuales: Sistema fotovoltaico, Sistema eólico, Grupo electrógeno gasolina y Grupo electrógeno diesel.
- Sistemas centralizados: Grupo diesel, Instalación eólico-diesel y Conexión a la red eléctrica pre-existente.

Se parte de la elaboración de una base de datos regional que contiene tanto datos relativos a la demanda como al recurso (datos de radiación solar, viento, etc.). A partir de estos datos, y gestionado por el SIG, se introducen una serie de reglas para determinar las áreas de alto potencial para el aprovechamiento de las energías renovables en la región estudiada.

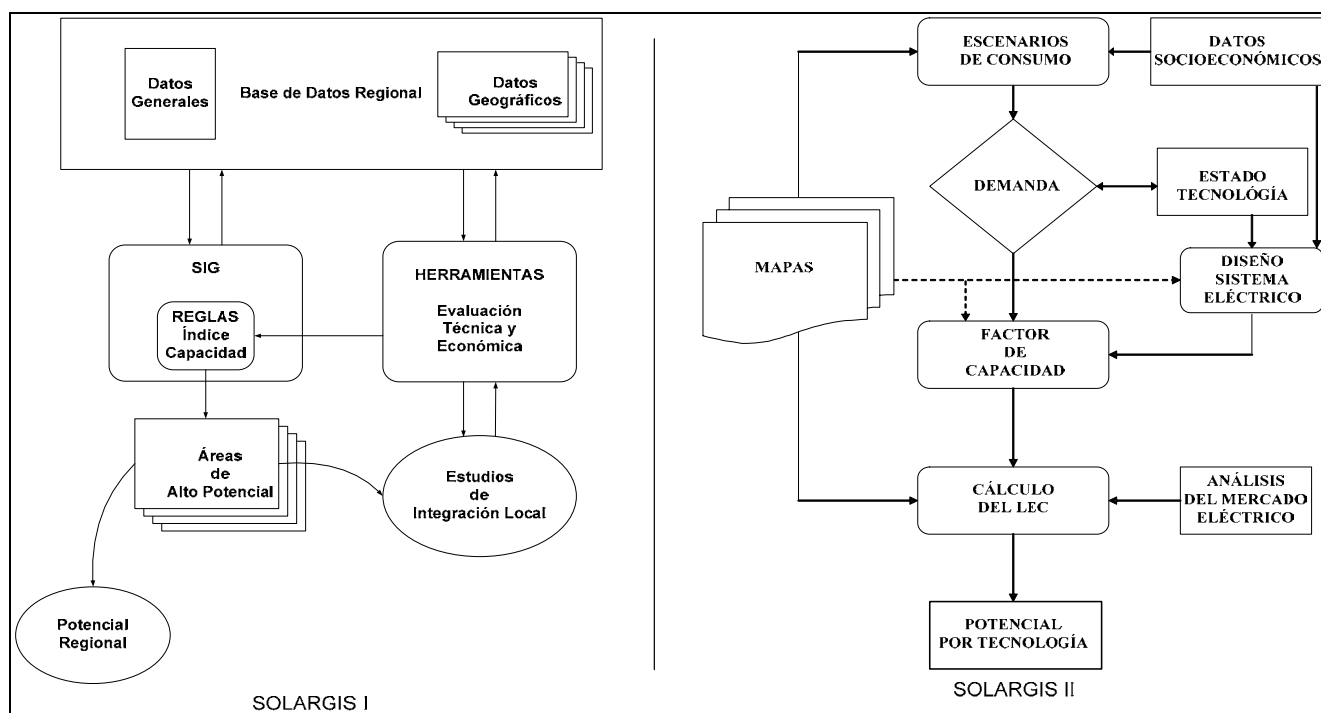


Figura 1. Evolución del Modelo SOLARGIS.

La elección del sistema de electrificación se realiza a través del cálculo y comparación del coste de electrificación equivalente (Levelized Electric Cost, LEC). Para el cálculo del LEC se utilizan cuatro capas de información en formato raster con una resolución de 1km², que contienen la siguiente información:

- Densidad de población rural (habitantes/km²)
- Radiación global media anual sobre el plano de los paneles (kWh/m² año)
- Velocidad media anual del viento (m/s)
- Distancia de conexión a la red de Media Tensión (km)

Además de la primera aplicación de SOLARGIS a seis áreas piloto, la metodología ha sido implementada con mayor detalle y con resultados satisfactorios por Vandenberg, *et al.* (1999) en varios municipios tunecinos,

por Mahmud, *et al.*(1996) en el estado de Karnataka en la India , por Monteiro, *et al.*(1998) en la Isla de Santiago (Cabo Verde), etc.

Solargis II

En 1997 se estableció un acuerdo de colaboración entre el CIEMAT y el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) en el proyecto de investigación: “*Los sistemas de información geográfica en la integración regional de las energías renovables para la producción descentralizada de electricidad. Análisis de parámetros técnicos*”. El objetivo de esta colaboración era determinar el grado de certidumbre de los resultados proporcionados por la aplicación del programa SOLARGIS.

Consecuencia de este estudio fue el desarrollo de una aplicación de SIG, basada en ArcInfoTM, que completa y mejora la versión inicial de SOLARGIS en los siguientes aspectos:

- Incorpora un escenario de demanda en base a variables socioeconómicas, establecido a partir de datos experimentales del consumo.
- Realiza el cálculo del factor de capacidad (FC) de los sistemas convencionales basándose en criterios de diseño contrastados profesionalmente.
- Incluye nuevos costes extraídos del análisis de las distintas tecnologías consideradas.
- Mejora el control del programa por el usuario.
- Realiza una versión en castellano de la metodología original

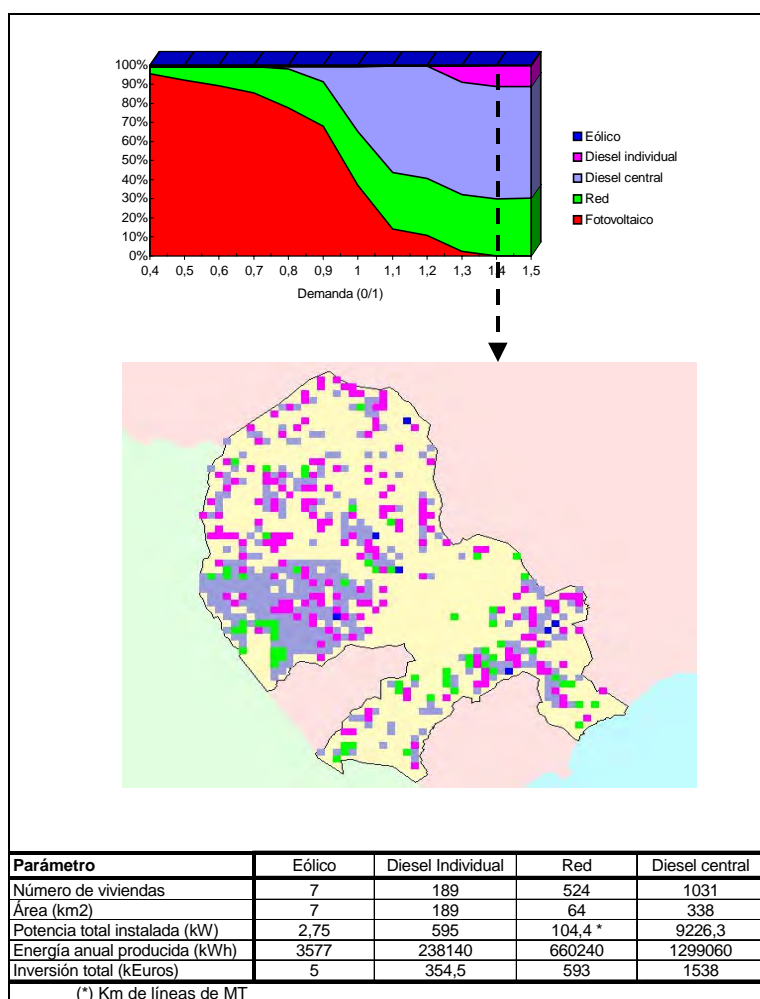


Figura 2. Análisis de Sensibilidad Espacial: evaluación de la demanda. SOLARGIS II, aplicación en Lorca (Murcia).

Sobre este nuevo SIG de electrificación rural con energías renovables se desarrolló una metodología de “análisis de sensibilidad espacial” (ver Figura 2) que permite conocer la influencia de las variables en el resultado de su aplicación (Amador, *et al.*, 2006) . Para la verificación de la metodología se tomó como área de estudio el municipio de Lorca (Murcia).

La evolución de SOLARGIS I al II implicó un cambio fundamental de concepto y de modelo de análisis (ver Figura 1). En este sentido, los principales cambios entre ambos modelos aparecen descritos comparativamente en la tabla 1. Hay que destacar, que desde el punto de vista de la evolución técnica del equipo, este cambio fue fundamental, ya que su adaptación a nuestra realidad, unida a una difusión más amplia de los resultados, sentó la base de las posteriores colaboraciones con grupos de investigación latinoamericanos.

Tabla 1. Principales cambios entre la versión I y II de SOLARGIS.

Aspectos	SOLARGIS I	SOLARGIS II
Resolución	1x1 Km.	1x1 Km.
Sistemas	Individuales: Fotovoltaico, Eólico, Grupo gasolina, Grupo diesel. Centralizados: Grupo diesel, Eólico-diesel y Conexión a la red eléctrica.	Individuales: Fotovoltaico, Eólico, Grupo diesel. Centralizados: Grupo diesel, Eólico-diesel y Conexión a la red eléctrica.
Demanda	3 valores de demanda (400, 1200 ó 500 Wh/día)	Cálculo de demanda en función de nivel económico y número de personas por vivienda. Inclusión de dos escenarios: vivienda renovable y vivienda convencional
Dimensionado de sistemas centralizados	Para el factor de diseño se basa en una relación de 2:1 entre la potencia máxima y la media.	FC en función de la demanda y de un factor de simultaneidad. Se introducen particularizaciones para los sistemas centralizados grupo diesel y eólico-diesel
Tamaño de la acumulación	El usuario definía el valor de la demanda y el tamaño de acumulación en dos pantallas sucesivas.	Cálculo automático del sistema de acumulación
Control de parámetros técnicos		Depuración parámetros innecesarios y control de otros a los que no se tenía acceso
Ajuste de parámetros		Costes de operación y mantenimiento. Inclusión de costes de reconstrucción del motor, de derechos de acometida, de acumulación, de acondicionamiento de potencia y de equipos eficientes para viviendas con consumo racional.
Inversor	A partir de los 5000Wh/día	A partir de los 700 Wh/día

El análisis de esta evolución, así como de las aportaciones realizadas en esta línea por otros autores tal y como aparece en el siguiente epígrafe, justifican en gran medida la continuidad de este proyecto a lo largo de todos estos años. Esta continuidad, como veremos más adelante, va irremediamente unida a las nuevas posibilidades que las TIG nos ofrecen tanto desde la perspectiva de la distribución de los resultados como de la evolución de las herramientas necesarias para alcanzarlos.

SIG y electrificación rural

Como apuntábamos anteriormente, existen otras experiencias enriquecedoras en el campo de la aplicación de SIG al análisis de las energías renovables en la electrificación rural.

Uno de los estudios pioneros en esta línea es el de Ariza López *et al.* (1997), el cual analiza la competitividad de las instalaciones fotovoltaicas aisladas frente a la extensión de la red para la provincia de Córdoba (España). Realiza una fragmentación del territorio en función de cuál de las dos opciones de electrificación minimiza el coste del kWh producido, partiendo de una aproximación integral del territorio objeto de estudio. En su análisis no tiene en cuenta la localización real de la demanda, aunque las herramientas disponibles en los SIG lo permiten, sino que presenta varios escenarios en base a la variación de los parámetros económicos más influyen-

tes (subvenciones, tasas de interés, aplicación de ecotasas, etc.). A partir de los diferentes escenarios resultantes, introduce unos valores de demanda que varían entre los 5 y los 50kWh. Los resultados obtenidos son presentados de forma tabulada y cartográfica, esta última por medio de mapas boléanos que muestran si la opción fotovoltaica posee un precio menor del kWh que la red o no.

Otro de los trabajos veteranos en este campo es el realizado por Muselli *et al.* (1997) donde se comparan cuatro opciones tecnológicas para la electrificación de áreas remotas en la isla de Córcega: fotovoltaica individual con baterías, fotovoltaica-diesel con baterías, grupo electrógeno diesel y extensión de la red eléctrica. Realiza una optimización física o dimensionado de los sistemas introduciendo como restricción que la probabilidad de pérdida de carga del sistema, entendida como la probabilidad de no satisfacer toda la potencia demandada, sea nula. Emplea un criterio de optimización económico en base al cálculo del LEC para definir las dimensiones de la tecnología más adecuada.

Por su parte, Fronius *et al.* (2001) desarrollan un software basado en tecnología SIG y orientado a la planificación rural. Cuenta con dos módulos diferenciados: LAPER y SIG. El primero se emplea para la definición de un modelo óptimo de electrificación y para el cálculo de costes, mientras que el segundo sirve de interfaz que muestra y almacena los resultados obtenidos. Tiene en cuenta los costes asociados con cada una de las tecnologías predefinidas (conexión a red, sistemas hidroeléctricos, fotovoltaica, diesel y eólica) y los compara con la red diseñada por el usuario. El software es capaz de seleccionar el modo de electrificación que minimiza los costes de inversión y mantenimiento, reemplazando la red propuesta por el sistema distribuido seleccionado.

El trabajo de Byrne, *et al.* (2007) es muy valioso por cuanto deja patente la potencia de cálculo de los SIG, introduciendo una gran cantidad de posibles valores para las variables de entrada. El objetivo es la definición de la potencialidad de pequeñas instalaciones basadas en energías renovables para la electrificación de comunidades rurales del Oeste de China. Su metodología se basa en la definición de 20 configuraciones diferentes para las tres opciones tecnológicas que compara (fotovoltaica, eólica e híbrida) que son definidas por medio de una herramienta de simulación. Esta herramienta está basada en el cálculo del LEC a partir de hojas de cálculo y es denominada *Rural Renewable Energy Analysis and Design (RREAD)*. Evalúa el recurso disponible a partir de datos horarios tanto de radiación como de vientos. Analiza la demanda en base a análisis estadísticos y encuestas que les permiten definir el perfil de consumo de los usuarios y además incluye escenarios de crecimiento de dicha demanda. Finalmente, emplean el SIG ArcView para correlacionar espacialmente la información generada sobre los recursos energéticos y el LEC resultante de cada una de las posibles configuraciones tecnológicas.

En el análisis realizado por Kaijuka (2007) aplicado en Uganda se presenta otro ejemplo de uso de los SIG en el proceso de planificación energética rural, pero su objetivo no es la definición de tecnologías óptimas, sino de áreas prioritarias de inversión. Para ello analiza la red de distribución eléctrica, la localización de las comunidades y de los centros de demanda prioritarios (escuelas, centros de formación, centros de salud, hospitales, etc.). Desarrolla una metodología para ponderar cada distrito y cada provincia, en función del tipo de demanda, que establecería una clasificación en función del orden de prioridad en la electrificación.

Como podemos ver, tras este brevísimo análisis de una parte de la literatura existente sobre el tema, la utilización de los SIG en este campo tiene un alto potencial de desarrollo, sobre todo si, además de una buena adecuación de la caracterización tecnológica a la demanda realmente existente, contemplamos una adecuada implementación de las potencialidades de los SIG.

En este sentido, en el epígrafe siguiente vamos a realizar la descripción de las tareas que el grupo de Tecnologías de la Información Geográfica para la integración regional de las Energías Renovables (gTIGER) está desarrollando en el CIEMAT.

COOPERACIÓN IBEROAMERICANA

Sin duda alguna, América Latina es un campo especialmente propicio para la aplicación de nuestro sistema, tanto por las necesidades específicas de electrificación rural (aproximadamente un 10% de la población en 2005 según el World Energy Outlook), como por la enorme diversidad y complejidad geográfica (determinante

en la riqueza y variabilidad de los recursos renovables), la posibilidad de contar con buenos referentes técnicos en las Universidades y centros dedicados a la investigación en energías renovables, la proyección de la industria española sobre el continente y la afinidad cultural y lingüística.

Prueba de ello, es el alto número de contactos y proyectos que nuestro grupo mantiene con estos países. Estos contactos comenzaron a consolidarse a partir del año 2004 cuando presentamos al programa CYTED (Ciencia y Cooperación Iberoamericana) la propuesta de *Red Iberoamericana sobre la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la integración regional de las Energías Renovables (RISIGER)*. La propuesta contó con el apoyo de veinticinco grupos de investigación repartidos por trece países iberoamericanos. Lamentablemente, el proyecto, a pesar de haber conseguido una alta valoración en la evaluación científico-técnica, no llegó a conseguir la financiación que perseguía.

A pesar de ello, el contacto con varios de los integrantes ha sido permanente y ha dado lugar tanto a intercambios de investigadores como al desarrollo y participación en proyectos conjuntos. En este sentido podemos citar trabajos y colaboraciones con Brasil (seminarios y formación), Cuba (proyectos de electrificación rural y evaluación de recursos), Colombia (intercambio de investigadores y desarrollo de proyectos), Argentina (intercambio), Chile (formación, proyectos), México o Guatemala (proyectos en ambos países).

A título de ejemplo, nuestro grupo participa y/o coordina proyectos como:

Optimización del uso de energías renovables en el Parque Nacional 'Torres del Paine': bases para un modelo metodológico. Desarrollado por el profesor Kustmann de la Universidad de Magallanes en Chile.

Aplicación de los sistemas de información geográfica a la integración de las energías renovables en la producción de electricidad en comunidades rurales: electrificación del municipio cubano de Guamá (Pinedo Pascua, 2007). Proyecto desarrollado por Irene Pinedo y que analiza las posibilidades de aplicación de IntiGIS en esta comarca. En este mismo ámbito también se está desarrollando el estudio de *Ordenamiento territorial y la planeación de las fuentes renovables de energía usando el sistema de información geográfica en el municipio Guama*, a cargo de la investigadora María Rodríguez de Unión Nacional Eléctrica del Ministerio de Industria Básica.

Metodología para el diseño de Sistemas Híbridos para Generación de Energía Eléctrica análisis de su viabilidad mediante el empleo de un Sistema de Información Geográfica. Paul A. Manrique Universidad del Valle, Cali (Colombia).

Diseño e implementación de una plataforma integrada de modelación para la planificación Energía – Ambiente y Desarrollo Sostenible. – “Aplicación caso piloto Colombia”. Ricardo Quijano, Universidad Nacional de Colombia (este proyecto por su magnitud es objeto de una comunicación específica en este mismo congreso).

Electrificación rural en el municipio de Coban, departamento de Alta Verapaz (Guatemala). En colaboración con la ONG Energía Sin Fronteras y a cargo de los alumnos del Master de Energías Renovables y Medio Ambiente de la EUIT Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid.

Laboratorio Nacional de Recursos de Energías Renovables desarrollado en el Instituto de Investigación Eléctricas de México y dentro del ámbito del geoportal SIGER de la misma institución.

Esta demanda permanente por parte de Latinoamérica, ha sido uno de los motores fundamentales por los que nuestro grupo ha decidido realizar un salto funcional y conceptual en sus análisis SIG, evolucionando de la metodología SOLARGIS a lo que hemos venido en denominar como Proyecto IntiGIS

PROYECTO INTIGIS

Como ya hemos avanzado anteriormente el trabajo de gTIGER está soportado por una larga evolución desde SOLARGIS I hasta la actualidad. Ese primer proyecto se caracterizó por la alta dependencia contextual del modelo original, por otro lado, normal en el estadio de desarrollo de la tecnología SIG de ese momento y por

las propias características del proyecto y del marco en el que se desarrolló, ya que no era un ámbito habitual ni de los SIG, ni de la Geografía.

Buena parte de las carencias relativas al contexto de desarrollo fueron suplidas en la versión II, desarrollada conjuntamente con la Escuela de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid. Sin embargo, esa versión, que ha seguido en uso hasta hace unos pocos meses, adolecía de las necesidades de flexibilidad que nuestros colaboradores demandan, tanto en su manejo y adiestramiento, como en su aplicación a nuevos casos y realidades.

Es en este contexto donde, tras agruparse esta actividad bajo la dirección de Energías Renovables del CIEMAT, surge el grupo de TIG y energías renovables (gTIGER), cuyo principal objetivo es promover la aplicación de las TIG en la integración de las energías renovables como una herramienta para su desarrollo y despegue, desde unos parámetros que combinen la integración multidisciplinar, un enfoque innovador y una clara vocación de transferencia y difusión del conocimiento; así como una visión ambientalista y de sostenibilidad en el desarrollo industrial y social, con especial atención al ámbito latinoamericano.

Bajo esta línea, **IntiGIS** se constituye en un proyecto continuo (ver Figura 3), o marco de trabajo, cuyo principal objetivo es desarrollar la metodología de aplicación de los SIG para la electrificación rural y la implantación de sistemas aislados con energías renovables. Como objetivos inmediatos, estarían concluir la migración de SOLARGIS a ARCGIS 9.2 (IntiGIS), incorporar nuevas tecnologías renovables con especial atención a sistemas híbridos, mejorar los aspectos de difusión, interface e interoperabilidad de la aplicación y mejorar los enlaces con otras aplicaciones tanto en la entrada de datos como en la difusión de resultados con especial atención a la información de satélite y al servicio de mapas en Internet.

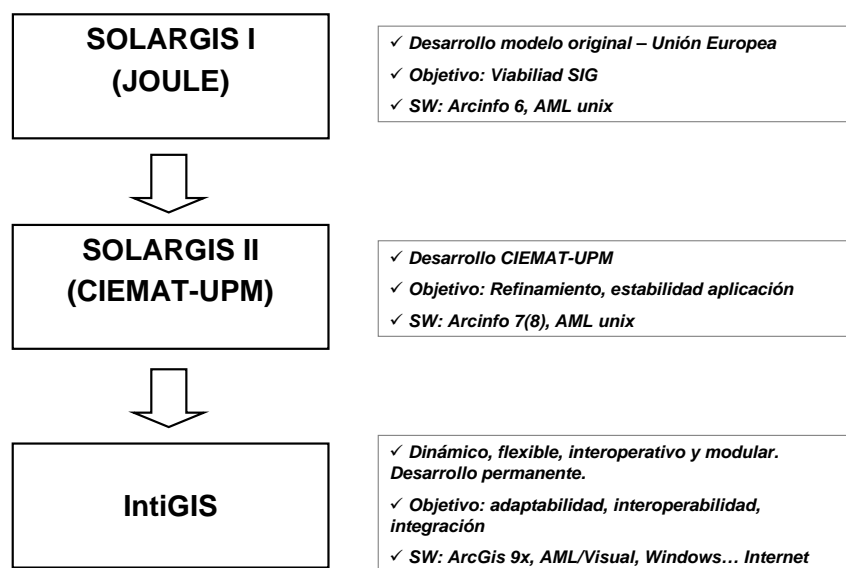


Figura 3. Evolución Metodológica.

En este sentido, se están desarrollando actualmente diferentes actividades y proyectos. Unos tienen un alcance más teórico con énfasis en aspectos metodológicos, integración con otros *software* y otras TIGs. Otros buscan acciones de difusión y transferencia (manual de la aplicación y evaluación de datos tecnológicos), otros son aplicaciones que persiguen tanto su uso como la depuración y adaptación a diferentes realidades (aplicación en el oriente cubano, aplicación en Guatemala, diseño de sistemas híbridos con biogás y análisis de viabilidad con SIG en Colombia...).

A título ilustrativo nos gustaría describir la reciente experiencia en la aplicación de nuestro modelo para un estudio de electrificación rural en Cuba.

En este estudio de escala regional se presenta una propuesta de electrificación en base a la minimización del LEC de las cuatro soluciones tecnológicas comparadas: sistemas fotovoltaicos individuales, sistemas diesel individuales, sistemas diesel centrales y conexión a la red eléctrica existente. Además de considerar datos económicos y técnicos vigentes en el área de estudio, en el análisis se tuvo en cuenta la distancia existente a la red eléctrica (calculada a partir de un MDE elaborado con datos de GTOPO30 y la digitalización de la red), la demanda eléctrica y su ubicación en el territorio (que había sido estimada en estudios previos (Shiota, 2002)) y el recurso solar (información generada a partir de los datos puestos a disposición por el proyecto SWERA y de acceso libre en Internet). Cada una de estas temáticas constituyó una nueva capa de información. En la Figura 4 se presenta el ejemplo de la radiación global anual en plano horizontal.

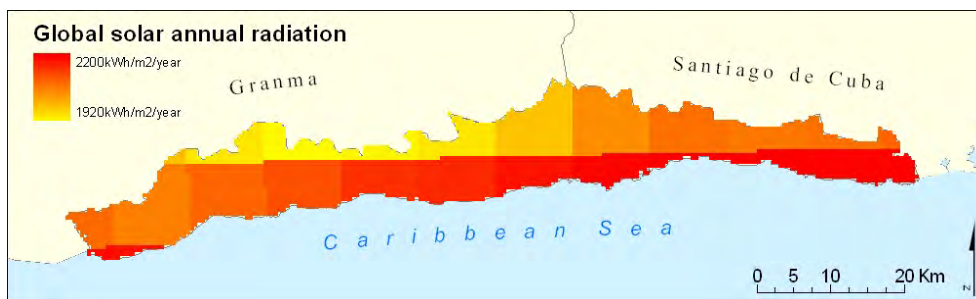


Figura 4. Valores de energía solar en el municipio de Guamá (Cuba), calculados a partir de los datos generados en el marco del proyecto SWERA.

Los resultados del análisis mostraron el alto grado de competitividad de las tecnologías renovables, siendo los sistemas fotovoltaicos individuales la opción más apropiada en el 93% de las comunidades sin electrificar. En el 7% restante la extensión de la red eléctrica constituye la opción más competitiva.

Una de las enseñanzas relevantes de este proyecto fue la necesidad de adaptar el estudio a las nuevas fuentes de información geográfica, facilitando con ello su aplicación por un amplio espectro de especialistas potencialmente interesados. Esto implicaría no sólo la utilización de fuentes de información de Internet sino también el desarrollo de una aplicación basada en esos mismos principios.

Otro de los aspectos es que la aplicación debería de ser más dinámica y fácilmente adaptable (como nos lo demuestra su aplicación en otras áreas de estudio) para lo cual estamos trabajando en una simplificación de los parámetros y en un mayor dinamismo a la hora de contemplar nuevas Tecnologías e incluso a la hora de realimentar el programa con los resultados de otras aplicaciones de diseño de sistemas aislados como Homer o Retscren.

EXPECTATIVAS FUTURAS

A corto y medio plazo, la apuesta del grupo pasa por realizar un esfuerzo importante en el desarrollo metodológico y difusión de IntiGIS, soportado técnicamente por su aplicación en nuevas áreas de estudio que nos permitan testear la aplicación e incorporar nuevas características en función de lo que nos demanden los diferentes proyectos. Hoy por hoy, la perspectiva es que estos proyectos estén mayoritariamente orientados hacia el ámbito latinoamericano y a que junto a un análisis específico de electrificación rural, incorporen una valoración regional de los recursos renovables. Los proyectos más inmediatos en los que el grupo participará se desarrollarán en Cuba, Colombia y México.

A más largo plazo, las expectativas de nuestro grupo pasan por la evolución de este campo de investigación, el cual puede ser analizado considerando tres aspectos: la evolución de los SIG, el desarrollo de las tecnologías de aprovechamiento de las fuentes de energías renovables y la integración de modelos y sistemas.

Del análisis del estado del arte se puede interpretar que la evolución en la aplicación de los SIG al campo de las energías renovables irá dirigida a una mayor integración y especialización tanto en tecnologías como en fuentes. Además, la combinación de estos aspectos con la evolución tecnológica de los SIG implica, en nuestra

opinión, que la evolución natural será el desarrollo de estudios cuyo objetivo final sea la puesta a disposición de la sociedad de sus resultados (un ejemplo en este sentido son los proyectos SWERA o PV-GIS). Para ello, la aplicación de la tecnología de *infraestructuras de datos espaciales* (IDE) y el aprovechamiento de los datos obtenidos a partir de sensores remotos son algo inmediato que marcan claramente la evolución desde la perspectiva de la innovación en las TIG.

Desde el punto de vista de la integración de las tecnologías para el aprovechamiento de las fuentes renovables, el reto se sitúa en: la introducción generalizada de los aspectos no vinculados exclusivamente a la generación de electricidad, la integración de múltiples fuentes y el diseño de *mix energéticos*, la caracterización de nuevos sistemas y la evaluación y predicción de recursos tomando como base múltiples fuentes de información. Además, no debemos olvidar la contribución a los grandes desarrollos existentes en la actualidad en el campo de la energía solar fotovoltaica, la energía solar termoeléctrica, la energía eólica marina o los biocombustibles (tanto en los recursos, como en su transformación y distribución).

Otro aspecto destacado será la integración de modelos y tecnologías que, tomando como base los SIG, permitan la utilización conjunta de técnicas tales como los análisis de ciclo de vida, la evaluación de impactos ambientales, la predicción e impacto en la red eléctrica, etc... permitiendo análisis más complejos que integren escenarios de oferta-demanda, tecnológicos y medioambientales.

En definitiva, la evolución de este campo multidisciplinar vendrá definida por aspectos tales como: la difusión de resultados a través de IDEs; la evaluación de recursos soportada por imágenes de satélite; la integración de diferentes fuentes de información en la evaluación de recursos en SIG; el desarrollo de herramientas innovadoras desde el punto de vista funcional y metodológico, fácilmente adaptables a los diferentes estudios y aproximaciones y con posibilidades de transferencia a la industria y a los agentes de decisión; los enfoques cooperativos (redes) y multidisciplinarios para la superación de barreras e integración; la integración de las energías renovables en aspectos como calefacción-refrigeración, transporte, desalación; y un largo etcétera que nos hacen ser optimistas respecto a sus posibilidades futuras.

CONCLUSIÓN

Con el presente trabajo hemos pretendido dar a conocer las actividades del gTIGER dentro de su estrategia de divulgación, difusión y transferencia tecnológica. El utilizar el marco de este Congreso para su realización responde a nuestro deseo de incorporar permanentemente nuestra visión multidisciplinar a un campo que, dada nuestra experiencia, mantiene una demanda permanente hacia las tecnologías de la información geográfica en particular y hacia la ciencia geográfica en general. Demanda que, en nuestra opinión, responde al fuerte carácter territorial que tiene la integración de las energías renovables tanto desde la perspectiva del recurso como desde la de la sostenibilidad de su desarrollo y su adaptación a las necesidades energéticas de las diferentes regiones.

Para abordar nuestra trayectoria e intentar transmitir nuestras capacidades hemos elegido la línea de investigación que en nuestra opinión mejor se adapta a los parámetros que hemos apuntado anteriormente. Esta línea, donde actualmente se encuadra IntiGIS, ha evolucionado desde un sistema más o menos cerrado como fue SOLARGIS a una metodología de trabajo totalmente abierta tanto a las nuevas demandas como a las nuevas posibilidades de las TIG.

En este sentido, hemos querido destacar la idea de la enorme importancia que tiene para nosotros la Cooperación con América Latina y la incorporación de nuestras herramientas con el ánimo de mejorar la integración de las energías renovables en la electrificación rural del Continente.

Para concluir, queremos destacar la idea de que para conseguir los objetivos de participación de las energías renovables en el sistema energético, no sólo latinoamericano, sino mundial, serán necesarios enormes esfuerzos, tanto en el desarrollo y mejora de la tecnología para su aprovechamiento, como en los estudios enfocados a superar las barreras y mejorar su integración en dicho sistema y los sistemas económico, social y territorial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amador, J. y Dominguez, J. (2006): Spatial analysis methodology applied to rural electrification. *Renewable Energy*, 31 (10): 1505-1520.
- Ariza Lopez, F. J. *et al.* (1997): Territorial competitiveness of the stand alone photovoltaic systems versus grid electricity supply. A method and a study based on geographical information systems. *Solar Energy*, 61 (2): 107-118.
- Byrne, J. *et al.* (2007): Evaluating the potential of small-scale renewable energy options to meet rural livelihoods needs: A GIS- and lifecycle cost-based assessment of Western China's options. *Energy Policy*, 35 (8): 4391-4401.
- Domínguez, J. (1996): Evaluación de emplazamientos potenciales para sistemas de producción descentralizada de electricidad con energías renovables. *VII Coloquio de Geografía Cuantitativa*. Universidad del País Vasco, Vitoria.
- Dominguez, J. y Amador, J. (2007): Geographical information systems applied in the field of renewable energy sources. *Computers & Industrial Engineering. A Cluster on Planning and Management of Energy and Infrastructure Engineering Projects*, 52 (3): 322-326.
- Fronius, R. y Gratton, M. (2001): Rural electrification planning software (LAPER). *IEE Conference Publication*, 5 (482).
- IEA (2006): World Energy Outlook 2006. Paris (Francia).
- Kaijuka, E. (2007): GIS and rural electricity planning in Uganda. *Journal of Cleaner Production*, 15 (2): 203-217.
- Mahmmud, F. *et al.* (1996): The Economic Potential for Renewable Energy Sources in Karnataka, India. *European Wind Energy Association Conference and Exhibition*. Mechanical Engineering Publications Ltd., Exeter (UK). pp. 191-196.
- Monteiro, C. *et al.* (1998): Evaluation of electrification alternatives in developing countries - The SOLARGIS tool. En: *Melecon '98 - 9th Mediterranean Electrotechnical Conference, Vols 1 and 2*, pp. 1037-1041.
- Muselli, M. *et al.* (1997): A Geographical Information System for the integration of stand-alone PV systems in remote areas. *14th European Photovoltaic Solar Energy Conference*. Barcelona, pp. 2589-2592
- Pinedo Pascua, I. (2007): *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la integración de las energías renovables en la producción de electricidad en las comunidades rurales. Caso de estudio: electrificación del municipio cubano de Guamá*. CIEMAT, Madrid. 87 pp.
- Shiota, A. (2002): *Recommended Guidelines for the use of renewable energy in rural electrification*. Japan International Cooperation Agency (JICA), Santiago de Cuba.
- Solargis-Team (1996): *Solargis Handbook. Guidelines for the elaboration of regional integration plans for decentralized electricity production with renewable energies*. European Commission., Brussels.

Vandenbergh, M. *et al.* (1999): A GIS approach for the siting of solar thermal power plants application to Tunisia. *Journal De Physique Iv*, 9 (P3): 223-228.

Domínguez Beisiegel, M. y Castañeda del Álamo, C. (2008): Revisión histórica y actualización del inventario de humedales salinos de Monegros Sur. Base para una propuesta RAMSAR. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 564-575. ISBN: 978-84-96971-53-0.

REVISIÓN HISTÓRICA Y ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE HUMEDALES SALINOS DE MONEGROS SUR. BASE PARA UNA PROPUESTA RAMSAR

Domínguez Beisiegel, M.¹ y Castañeda del Álamo, C.²

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria del Gobierno de Aragón, Unidad Asociada al CSIC, Av. Monatañana 930, 50059 Zaragoza. mdominguezb@aragon.es; ccastanneda@aragon.es

RESUMEN

En el marco nacional e internacional, el inventario de humedales es un objetivo de los planes estratégicos de conservación. En este contexto se ha reconocido la importancia de disponer de inventarios amplios, de designar sitios RAMSAR, y documentar e identificar los humedales perdidos o los susceptibles de restauración. Este trabajo presenta un inventario actualizado de los humedales salinos de Monegros Sur y describe su evolución desde 1927. El desarrollo de los sistemas de información geográfica (SIG) y la teledetección han permitido una mejor y mayor utilización de los datos espaciales. Para el inventario se ha empleado el análisis cartográfico basado en un SIG utilizando imágenes de satélite, fotografías aéreas, mapas, documentos inéditos, y estudios sobre el terreno. La vegetación, el régimen hídrico y la geomorfología han sido los elementos fundamentales empleados para reconocer estos humedales. La presión humana ha favorecido su modificación en número, tamaño y forma, y es el principal factor de control del estado de conservación de los elementos paisajísticos que los caracterizan. La información obtenida contribuye al conocimiento y conservación de nuestro patrimonio natural y ayudará a establecer las bases para proponer su inclusión en la lista RAMSAR.

Palabras Clave: Fotointerpretación, salinidad, paisaje agrícola, hábitat, Red Natura 2000

ABSTRACT

Wetlands inventory is a key objective in conservation policies in national and international frameworks. In this context the importance of getting comprehensive inventories and designating RAMSAR sites has been recognized. These strategies require identifying the wetland loss, and their degradation and restoration possibilities. In this work we present the updated inventory of Monegros saline wetlands and its historical evolution from 1927 to nowadays. The development of geographic information systems (GIS) and remote sensing techniques have allowed a better and major exploitation of the spatial information. Our wetlands inventory was accomplished by means of a cartographic analysis based on a GIS and incorporating satellite images, aerial photographs, maps, unpublished documents, and ground data. Vegetation, water regime, and geomorphology have been the three main features used for wetlands recognition. Human pressure yielded the degradation of wetlands in number, size, and shape, and is the main controlling factor of the landscape's conservation status. The obtained information allows to establish the base for proposing them as RAMSAR site, contributing to the knowledge and conservation of our natural heritage.

Key words: Photo-interpretation, salinity, agricultural landscape, habitat, Natura 2000 Network.

INTRODUCCIÓN

El inventario, el estudio retrospectivo, y el conocimiento de la tendencia evolutiva de los humedales salinos de Monegros Sur son clave para su conservación y su gestión ambiental. Su caracterización histórica en el marco paisajístico que los engloba permitirá definir los factores de transformación resultantes de la fragmentación del paisaje, de los hábitats naturales y su homogeneización.

El equilibrio entre medio ambiente y agricultura ha recobrado interés teniendo en cuenta la posición estratégica de la comarca natural y su valor ecológico. Monegros Sur, hasta ahora un secano cerealista, se está transformado en regadío para incrementar su rendimiento y productividad agrícola. Este cambio puede traducirse en una amenaza para los hábitats actuales, o en la destrucción total de unos de los pocos humedales salinos europeos.

Estos riesgos se han constatado en trabajos anteriores (Castañeda y Herrero, 2008; Domínguez et al., 2006; Pedrocchi, 1998). Los ecólogos consideran que la fragmentación del paisaje y la distancia entre fragmentos obedecen a las particularidades y a la calidad de los hábitats de su entorno próximo (Forman y Godron, 1986). Así, la conservación de estos humedales salinos puede evaluarse por su número y su nivel de degradación.

La Convención de Ramsar ha reconocido la importancia de los inventarios de humedales para conformar las políticas y otras medidas destinadas a alcanzar su conservación y uso racional a través de la Lista de Humedales de Importancia Internacional. Los criterios para la selección de humedales de Importancia Internacional deben basarse en aspectos ecológicos, botánicos, zoológicos, limnológicos, e hidrológicos. Los humedales a proponer a dicha Lista deben ser representativos, raros o únicos, sustentar algún tipo de especie vulnerable o en peligro, así como albergar especies vegetales o animales de importancia para la biodiversidad. Además, como criterio principal, deben incluirse los humedales catalogados para la conservación de las aves acuáticas en cualquier estación del año.

El Sistema de Clasificación de Tipos de Humedales Ramsar (Ramsar Convention Secretariat, 2006) tiene valor como descripción básica de los principales hábitats en un marco muy amplio, aunque no se adapta a la descripción de todos los hábitats de humedales (Zalidis et al., 1996; Costa et al., 1996). En este trabajo se ha empleado una clasificación adaptada a los rasgos específicos de estos saladares de medio árido como su morfología, tamaño, presencia de vegetación, y régimen hídrico. Los humedales de Monegros son únicos por sus características biogeográficas y podrían incluirse en la Lista Ramsar por albergar plantas amparadas por el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón (C.E.A.A.) y la Directiva Hábitats (Directiva 92/43), y por contener Zonas de Especial Protección para las Aves (Z.E.P.A.S.) y Lugares de Interés Comunitario (L.I.C.).

En la actualidad el regadío amenaza la pervivencia de estos humedales salinos cuyo pasado, cultural y económico formó parte de la vida de los habitantes de la zona. Se ha producido una homogeneización del paisaje y la desaparición relativamente rápida de saladares. La respuesta de estos humedales a la presión humana se traduce en una pérdida de biodiversidad. Quizá el abandono de tierras agrícolas limítrofes a los humedales diera paso a la regeneración de la vegetación potencial y a la recuperación de estos hábitats de gran valor ecológico; aunque también pudiera contribuir a su pérdida, ya que están adaptados históricamente a estas condiciones agroecológicas (González, 1992; Naveh, 1994).

El objetivo de este trabajo es ofrecer una visión integrada de los humedales de Monegros Sur explicando los elementos actuales del paisaje a través de hitos históricos. Para ello se han establecido dos objetivos parciales. Primero, la revisión histórica y actualización del inventario de humedales salinos. Segundo, la identificación de cambios espacio-temporales observables desde 1927 hasta la actualidad y su valoración cualitativa.

Generalmente, los inventarios se han basado en estudios sobre el terreno apoyados en fotografía aérea y mapas topográficos. El avance de los SIG, la mejora de la resolución espacial de las imágenes de satélite y el desarrollo de la teledetección, facilitan el inventario y la recolección de información. En este trabajo se emplea la fotointerpretación y los SIG como principales herramientas.

ZONA DE ESTUDIO

Contexto geográfico y medio físico

Los humedales salinos de Bujaraloz-Sástago, en la comarca de Monegros, son depresiones endorreicas originadas por karstificación y erosión eólica. Se localizan sobre una plataforma estructural Terciaria en el centro de la depresión del Ebro (Figura 1) con una altitud entre 320 y 417 m.s.n.m, y limitan al Este con el barranco de la Valcuerna, al Oeste con los Montes de Retuerta, y al Sur con el escarpe abarrancado que desciende a la llanura aluvial del Ebro.

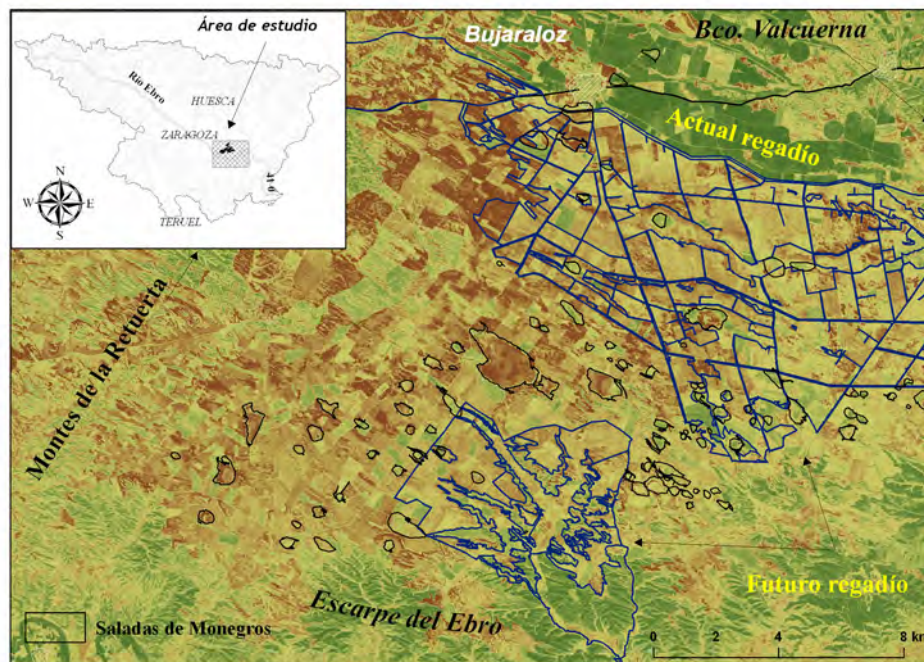


Figura 1. Mapa de localización de las saladas de Monegros. Inventario actual superpuesto a la banda 1 de una imagen del satélite ASTER de 5 de julio de 2005. En verde, la vegetación.

El clima, mediterráneo continental, es el más árido de la cuenca del Ebro con una precipitación media anual de 350 mm en los últimos 20 años, según registros de los observatorios de Bujaraloz “Petris” (I.N.M.), y de Valfarta “La Roca” (Red SIAR-DGA). Esta escasez se añade a la irregularidad de la lluvia, con máximos en primavera y en otoño, y mínimos en verano e invierno. El cierzo, viento dominante de procedencia NW, es desecante y activa la evaporación acentuando el déficit hídrico en la zona. La evapotranspiración de referencia (ET0) media, calculada por Martínez-Cob y col. (1998) con el método de FAO Blaney-Cridley, es algo superior a 1183 mm.

Los humedales de Monegros se asientan sobre un conjunto litológico heterogéneo donde predominan calizas, yesos, y lutitas, generalmente carbonatadas y yesíferas. En estos estratos horizontales se ha generado un paisaje caracterizado por vales y suaves cubetas de diferente tamaño. En ellas se sitúan los humedales, especialmente desarrollados en los terrenos más calcáreos. Los sedimentos cuaternarios de las vales y las cubetas endorreicas son limos y arcillas, a menudo con muchas sales, y pueden alcanzar más de 2 m de espesor. La orientación NW-SE de las vales, los escarpes, y las depresiones cerradas está relacionada con las diaclasas existentes (Pedrocchi et al., 1989) y la dirección del viento dominante.

No existe una cartografía específica de suelos de los saladares. Hay estudios de reconocimiento y croquis elaborados en los años 60 y 70 del S. XX por contratistas para estudios previos a la transformación en regadío del Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. En la zona agrícola los suelos son no salinos con poco contenido en materia orgánica; la pedregosidad es variable debido a la profundidad del laboreo y a los despedregues. En los fondos de las saladas los suelos son poco o nada pedregosos, muy salinos y con acumulaciones de materia orgánica relacionadas con el desarrollo de tapices de algas y de microorganismos extremófilos.

González (1992) distingue dos tipos de humedales salinos en la zona según su régimen hidrológico, clotas y saladas. Define las clotas como depresiones redondeadas de bordes netos que, en ocasiones, han sido cultivadas total o parcialmente evitando los fondos más salinos y húmedos. El término salada lo aplica a las lagunas temporales hipersalinas que son de mayor tamaño que las clotas y presentan agua más a menudo junto a frecuentes tapices microbianos y eflorescencias. Dentro de este grupo, menciona los playa-lake, de fondo muy plano, destacando las eflorescencias y costras de sales solubles. Las salmueras en estos fondos tuvieron en algunos casos usos extractivos (Laguna de La Playa, Salineta).

Castañeda (2002) recoge los vocablos aceptados por otros autores y señala como acertado el término de salada de forma genérica para designar dos tipos de depresiones, lagunas y clotas. En este trabajo se acepta esta clasificación incluyendo el topónimo de hoyas u hoyos para las de bordes más suaves y, generalmente, más secas. La variabilidad del régimen hídrico de las saladas se relaciona con su origen, grado de desarrollo, y localización respecto a las unidades hidrogeológicas definidas en la zona (Castañeda y Herrero, 2005). Todas son áreas de descarga del agua subterránea aunque no se descartan procesos de infiltración debido a la densidad de las salmueras (García Vera, 1996). Éstas, al evaporarse, depositan sales, frecuentemente arrastradas por el viento.

La vegetación natural, cuyo interés pusieron de manifiesto Braun-Blanquet y Bolòs (1958) y Molero et al. (1989), está hoy restringida a los taludes y, en ocasiones, al interior de estos humedales. Las clotas contienen vegetación en su fondo húmedo y salino, distinguiéndose así de las saladas de fondo desnudo (pan, mudflat) que se inundan con más frecuencia. Predominan la estepa salina mediterránea (*Suaeda vera* y *Arthrocnemum macrostachyum*), matorrales halonitrófilos (*Salsola vermiculata*), y matorrales gipsófilos (*Lygeum spartum*). Casi la mitad de la superficie de los humedales son hábitats incluidos en la Directiva 97/62/CEE (Domínguez et al., 2006); el resto, lo componen los fondos salinos desnudos de los playa-lake, y los vertidos procedentes del despedregue de los campos próximos. Se ha observado una gradación del recubrimiento de la vegetación y su disposición en bandas. Esto se relaciona con la microtopografía de los fondos, y con el estado de humedad y la composición del suelo (Herrero, 1982).

El paisaje

El paisaje, condicionado desde siempre por la agricultura, se presenta como una extensa llanura surcada de suaves ondulaciones, depresiones y vales con pendiente entre el 5% y el 2%. El cereal, el régimen hídrico de las saladas, y los estados de superficie asociados, establecen una marcada estacionalidad que se traduce en cambios drásticos del color del paisaje, especialmente entre la primavera y el verano.

Actualmente este paisaje se está modificando y se ha observado una pérdida de actividades arraigadas hasta hace poco, como el pastoreo (De los Ríos, 1982). Al norte se distingue una franja definida por el regadío, con predominio de alfalfa y maíz, y por la expansión agro-industrial en las inmediaciones del núcleo de Bujaraloz. Dada la horizontalidad del terreno, es especialmente visible la creciente edificación de granjas y desecadoras de alfalfa, que ocasionan la pérdida de calidad del paisaje. Más al sur se desdibuja un paisaje de humedales diseminados y confinados entre campos de secano dedicados al trigo duro y la cebada. Gran parte de este secano será transformado en regadío en los próximos años.

Desde la introducción de maquinaria hasta la concentración parcelaria asociada a la instalación del regadío se ha producido un cambio en el color y los patrones del paisaje. Muchos humedales han sido invadidos por el avance de los cultivos y la roturación de nuevas tierras que, en ocasiones, los han destruido. Los fondos y bordes han sido objeto de vertidos de despedregue desde tiempo atrás mientras que las nuevas infraestructuras lineales han condicionado y modificado sus hábitats. Un ejemplo de fuerte impacto sobre un saladar en una zona próxima es la Laguna de Sariñena, transformada en laguna de agua dulce por los efluentes del regadío, con el consiguiente cambio de su flora y fauna.

METODOLOGÍA

Material

Se han empleado numerosos documentos de formato e índole diversa para reconocer, delinear, e inventariar el número máximo de humedales. Dichos materiales comprenden mapas topográficos, fotografías aéreas y ortofotos, listados y descripciones de estudios inéditos, y documentos digitales y bases de datos de trabajos previos.

Se han revisado las hojas 413 (Gelsa) y 414 (Bujaraloz), del Mapa Topográfico Nacional, escala 1:50.000, en sus ediciones de 1927, 1929, 1950, 1952 y 2004. Las fotografías aéreas utilizadas, en blanco y negro, pertenecen a dos vuelos históricos: el de la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro (actual C.H.E.), de 1927, y

el USAF-B, correspondiente a los años 1956 y 1957. Se ha completado un mosaico digital georreferenciado con los fotoplanos de 1927, a escala 1:10000. Los contactos en papel del vuelo de 1957, a escala 1:30000, se han escaneado y georreferenciado. También se han empleado las ortofotos color del SIGPAC (M.A.P.Y.A.), en formato digital, con fechas de vuelo entre 1999 y 2000, y escala 1:5000.

De los inventarios de humedales existentes, recopilados por Castañeda (2002), se ha empleado como referencia el de Balsa et al. (1991) por contener el mayor número de saladas y un croquis general de las mismas, aunque sin coordenadas. Se ha contado con la cartografía actual de detalle de la vegetación asociada a las saladas, a escalas entre 1:2000 y 1:6000, basada en criterios botánicos y de conservación (Manual de interpretación de Hábitats de la UE, 2003) elaborada para su seguimiento ambiental (Domínguez et al., 2006).

Procedimientos técnicos

Los 44 fotogramas de 1957 se han escaneado con una resolución máxima de 800 ppp conservando sus dimensiones originales. Con ello, los humedales de menor tamaño han quedado representados por un mínimo de cuatro píxeles. Se han generado copias digitales de un metro de píxel para evitar pérdidas de información; una mayor resolución aumentaría la nitidez pero no la distinción de los elementos observables, ralentizando el procesamiento y aumentando el espacio de memoria requerido.

Para georreferenciar se han empleado entre 6 y 12 puntos de control, con la ortofoto del SIGPAC como referencia. Debido a la degradación de la colección de fotografías disponibles del vuelo USAF-B (1957) no se ha contado con parámetros técnicos para la ortorrectificación. Por ello únicamente se ha empleado la dirección del eje de vuelo, al no distinguirse las marcas fiduciales ni, muchas veces, la altura. Para lograr un ajuste razonable en la transformación se aplicó un polinomio de segundo grado, que corrige los patrones lineales del escáner, y se remuestreó con el método del vecino más próximo.

La elección de la escala de trabajo depende de la superficie geográfica estudiada, la precisión exigida, y los recursos disponibles. En este trabajo se ha aceptado como unidad cartográfica mínima aquella que permita observar los humedales de menor tamaño en la fotografía aérea, fotoplano u ortofoto, por lo que se ha seleccionado una escala menor que 1:30000 permitiendo así identificar las clotas más pequeñas.

Se han apreciado deformaciones en los fotoplanos de 1927 posiblemente derivados de la inestabilidad de la línea de vuelo. Las distorsiones de la fotografía aérea derivan de la curvatura y relieve de la Tierra además de la visión en perspectiva cónica, y la altura y velocidad de la cámara. Los puntos más elevados suelen aparecer desplazados respecto a su posición original (Robinson et al., 1987). Esta deformación se ha solventado en el proceso de georreferenciación por el escaso desnivel de la plataforma donde se asientan saladas (entre 320 y 417 m.s.n.m). No se dan distorsiones en la ortorrectificación de las ortofotos del SIGPAC.

La fotointerpretación se ha basado en criterios geométricos, texturales y tonales o de color. Los geométricos han consistido en el reconocimiento de formas claramente asociables a humedales, por lo general alargadas (playa-lakes) u ovaladas (clotas u hoyas), y alineadas o encadenadas, con orientación NW-SE y de tamaño diverso. Los criterios texturales responden principalmente a la presencia de vegetación natural en taludes y fondos, y vertidos de despedregue. Los criterios tonales derivan de la presencia de eflorescencias, humedad, y cambios locales en la composición del suelo a modo de manchas irregulares claras y oscuras de extensión variable. Las ortofotos del SIGPAC han aportado diferencias cromáticas.

Se ha fotointerpretado en pantalla sobre sendos mosaicos georreferenciados de los fotoplanos de 1927, los fotogramas de 1957 y las ortofotos SIGPAC. Además, la fotointerpretación con pares estereoscópicos de los contactos en papel de 1957 ha permitido contrastar y completar las observaciones anteriores. Se han digitizado los bordes de los humedales para cada fecha tomando como referencia los límites de 2007 resultantes de la fusión de polígonos de vegetación (Domínguez et al., 2006) y de la fotointerpretación del SIGPAC.

El croquis de Balsa et al. (1991) ha permitido identificar saladas en los mosaicos de 1957 y 1927, no visibles en la ortofoto más reciente. Finalmente, se ha invertido el proceso verificando la presencia de las saladas “antiguas” en la ortofoto actual, utilizando además criterios de campo como el reconocimiento de vegetación halófila y evidencias geomorfológicas como depresiones, hondonadas y taludes, así como cambios de color y aspecto de la superficie del suelo.

Posteriormente se ha creado una geodatabase donde se ha incorporado y contrastado la toponimia de fuentes e inventarios previos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los humedales salinos en 1927, 1957 y 2007

Se ha elaborado un estudio actual y retrospectivo de los humedales salinos de Monegros y del paisaje que los rodea. Las fotografías aéreas han resultado valiosas por ofrecer información de detalle y exactitud planimétrica. Las fechas estudiadas representan cambios importantes en el paisaje: el año 1927 corresponde al periodo previo a la guerra civil, antes de la mecanización agraria; 1957 a las hambrunas de la posguerra y el inicio de la mecanización; y el año 2007 muestra las transformaciones producidas por intensificación agraria, la introducción del regadío y la Política Agraria Común.

Se ha obtenido un inventario de saladas, Inventario 2007, y dos inventarios históricos correspondientes a 1927 y 1957. El inventario de 1927 contiene 124 saladas; el de 1957 recoge 110 y el de 2007 contiene 98 saladas, el número más bajo de los tres años. Sin embargo, la posibilidad de verificación en campo, la cartografía actual de vegetación, y la forma y color distinguibles en las ortofotos actuales, han sido tres ventajas importantes del inventario actual, posiblemente mucho más completo que los dos anteriores. En términos cuantitativos se tiene un total 133 saladas diferentes, cifra que incluye las coincidentes y las exclusivas de cada fecha. De las 124 saladas de 1927, 105 se han conservado en 1957 y, de ellas, 84 aparecen en 2007.

Clasificando los humedales según su persistencia en las fechas estudiadas se tiene que un 9 % de saladas se observan sólo en una fecha, la mayoría en los fotoplanos de 1927, un 28 % persisten en dos fechas, y el 61 % se conservan en las tres. Éstas son las de mayor tamaño, de tipo playa-lake, y las hoyas o clotas mayores a 20 ha. También se conservan en las tres fechas aquellas de superficie menor a 10 ha con morfología visiblemente cerrada.

Se ha contrastado la localización y la toponimia de las saladas en todas las fuentes consultadas recogiendo las ambigüedades o discrepancias encontradas. Se ha tomado como referencia la toponimia del inventario de Balsa et al. (1991) por ser el más completo y por la utilidad de su croquis. El inventario 2007 recoge 69 de las 99 saladas de estos autores; la diferencia puede deberse a los criterios de reconocimiento empleados, especialmente en campo (estado de humedad, vegetación, morfología, etc.). Se han archivado los nombres de las saladas completos, es decir, acompañados por el calificativo con que aparecen listadas (clota de, hoya de, laguna, salina, etc.).

Las 24 saladas que estos autores registran únicamente como “clota”, y las 30 nuevas saladas inventariadas, se han nombrado por el topónimo que aparece en el documento más antiguo, los fotoplanos de 1927. De acuerdo con inventarios previos, se han tomado los nombres de elementos próximos incluyendo apelativos como pozo, corral, mas, camino, y venta. En el inventario 2007, un 44 % de las saladas tienen calificativos que hacen referencia a una hondonada, como clota, hoyo y hoyo; y el 11 % evocan la presencia de agua o sales, como laguna y salina. En la Figura 2 se ha representado la extensión de las saladas agrupadas por el calificativo de Balsa et al. (1991) y del inventario 2007. Se puede observar la variabilidad del tamaño de las clotas y hoyas, entre 1.2 y 29.8 ha y entre 5.2 y 56.2, respectivamente. Esto confirma que dichos nombres hacen referencia a la forma y confinamiento del talud más que a diferencias de tamaño; por lo general, las hoyas se localizan al suroeste y las clotas, de taludes más cerrados, al sureste. No se ha observado relación entre el tamaño de las clotas, su posición geográfica o la preservación de su talud. Lagunas y salinas son las de mayor tamaño, menos abundantes pero las más persistentes. Los apelativos pozo y balsa, sin relación con el tamaño, aluden claramente a elementos próximos a la salada.

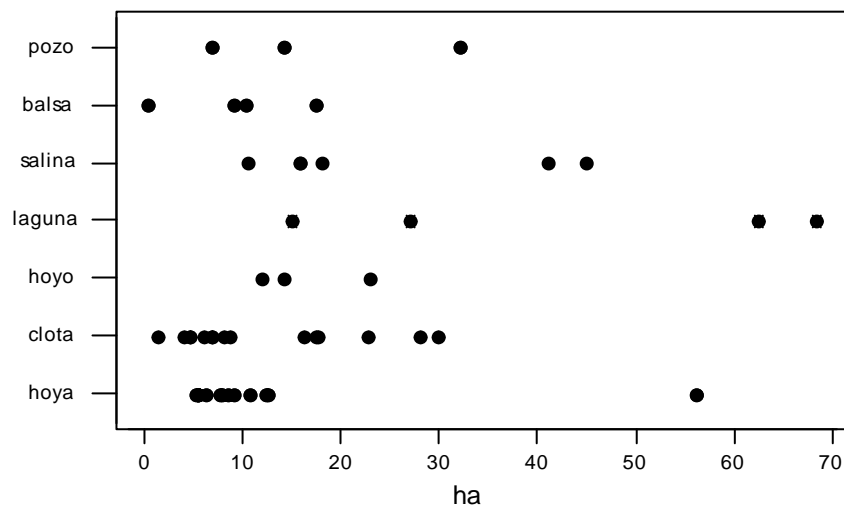


Figura 2. Distribución del tamaño de las saladas según el calificativo empleado en su inventariado. La salada “La Playa”, de 239 ha, se ha obviado para permitir el análisis comparativo del resto.

Se ha encontrado dificultad para dibujar con precisión los bordes de las saladas en los inventarios históricos. Las diferencias de escala, la gama de grises y las deformaciones geométricas de los fotoplanos de 1927 han limitado la labor. Por ello, se han analizado cambios cualitativos y no se han cuantificado variaciones de superficie inundable o de vegetación natural. Los frecuentes usos alternantes junto a las limitaciones de la fotointerpretación derivadas de la calidad de los documentos antiguos, explican la aparición de nuevas saladas en los inventarios de 1957 y 2007. Así, en 1957 se han reconocido 5 nuevas, casi todas conservadas hasta la actualidad; y 4 más en 2007.

En términos cualitativos, se aprecia una pérdida general de saladas en el intervalo de 80 años de estudio, así como una gran variabilidad de su estado de conservación, lo que ha influido en su identificación. Desde 1927 hasta la actualidad, se han perdido al menos 34 saladas; entre 1927 y 1957, se han perdido 19. Independientemente de su tamaño, saladas labradas o cultivadas en una fecha, se observan recuperadas posteriormente (sin actividad agrícola y/o con vegetación natural), y viceversa. En el primer intervalo de 30 años la reducción del número de saladas es proporcionalmente mucho mayor que en el segundo intervalo de 50 años. Esta degradación se trasluce en el paisaje, con un incremento de la superficie dedicada a cultivo frente a la de vegetación natural. Como ejemplo, la Figura 3 representa la roturación de superficie ocupada por eriales o pastos en 1927 (Figura 3a) y destinada a labor en 1957 (Figura 3b).

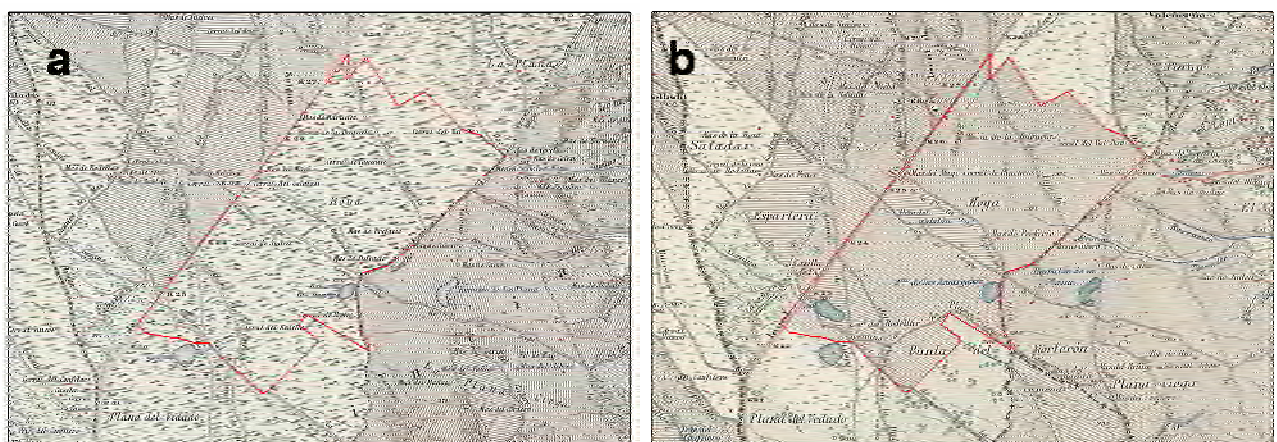


Figura 3. Hoja 414 del Mapa Topográfico Nacional de 1927 (a) y 1957 (b). En rojo se señala la superficie que ha pasado de erial a cultivo de secano.

Las 19 saladas desaparecidas desde 1957 hasta la actualidad forman parte de 76 parcelas que ocupan una superficie de 1245 ha. La mayor parte de dicha superficie, el 94.1 %, corresponde a tierras arables; el resto tiene otros usos (pastos y pastizales, viales, y corrientes y superficies de agua). Un 34 % de la superficie arable se encuentra en barbecho durante la campaña 2005-2006, y el 16 % con trigo duro. Únicamente el 8 % de la superficie que ocupan dichas saladas es de retirada obligatoria por pago único.

Valoración del paisaje

Hay documentos históricos que aluden al continuo proceso de transformación del paisaje de los Monegros, especialmente en Bujaraloz, donde se describen viñedos, eriales, pastos, y monte alto de pinos y sabinas que fueron devastados (Asso, 1789).

En 1927 gran parte de la superficie ya se encuentra ocupada por cultivos de secano (Figura 4a). Se reconocen formas “abancaladas” o “camadas” que, por su desnivelación, en años secos solo producían en la zona más húmeda, generalmente en el desmonte (De los Ríos, 1982). En las fotografías, la textura uniforme y los tonos claros son comunes a cultivos y eriales; sin embargo, las formas alargadas y rectangulares de los campos de cultivo, permiten su diferenciación. Los bordes redondeados de los campos y caminos se adaptan a los relieves alomados y a las vertientes suaves de las vales. En general, los taludes de clotas y hoyas no aparecen roturados.

A partir de 1950 se produjo en España la intensificación agraria (Regalés, 1969). En Monegros, la mecanización, la introducción del arado de vertedera, y los abonos, se retrasaron (Castelló, 1984). En 1957 (Figura 4b) apenas se observan cambios en la morfología de los campos o en los taludes de los humedales. Unos pocos, situados en fondos de val con taludes más suaves y de materiales más sueltos, han sido roturados aprovechando su humedad. Otros, con textura de puntos en hileras indican la presencia de más superficie de cultivo arbustivo o arbóreo que en la actualidad.

Por lo general, si no se conoce la fecha del vuelo, la escasa diferencia de textura entre cereal y barbecho, no permite distinguir si la superficie estaba cultivada, pero ofrece una idea del estado de evolución del paisaje. En la figura 4b, las texturas y tonalidades heterogéneas se asocian a los campos labrados. Sin embargo predominan las texturas homogéneas, lisas, y las tonalidades claras, relacionadas con el momento posterior a la cosecha o de maduración del cultivo. Se conoce la fecha de vuelo de la zona representada en la figura 4b, el 28 de julio de 1956, posterior a la cosecha (15 junio- 15 julio). En los fondos inundables de los humedales, destacan los tonos oscuros relacionados con humedad, y no se advierten tonos claros asociables a eflorescencia estival, lo que podría indicar un año bastante húmedo o una precipitación ocasional. Por otro lado, la vegetación de los humedales presenta textura de moteado irregular y heterogéneo con respecto al suelo desnudo, y apenas parece alterada. Los caminos no se han modificado, y aparecen rectilíneos y en tonos más claros.

Sin embargo, durante las décadas de los 60 y 70, aumenta la presión sobre el paisaje. En la parte norte de la zona de estudio (“regadío actual”, en Figura 1) se produce la colonización de tierras por la transformación en regadío (Ley de Riegos del Alto Aragón de 1915) para aumentar la productividad de cultivos de autoabastecimiento (forrajeros para ganado). El I.R.Y.D.A. (antiguo Instituto Nacional de Colonización), colaborando con la Confederación Hidrográfica del Ebro y el M.O.P.U., promovió las obras de transformación, se nivelaron terrenos y se efectuó la concentración parcelaria que ha modificado (Figura 4c) la forma, tamaño, y orientación de las parcelas (Gómez, 2003).

En el sur también se fomentó la concentración con el fin de aumentar la producción de grano. Los campos, rectangulares y de mayor superficie, se han suavizado hacia formas redondeadas o prácticamente llanas (Figura 4a). Labores profundas exhumaron muchas piedras, a menudo transportadas a los linderos de los campos y a las saladas, o depositados en montones dispersos en los campos. Además el uso de rulos ha favorecido la rotura del yeso y la caliza superficiales. Algunas saladas próximas al núcleo de Bujaraloz, han desaparecido o han sufrido una modificación en su vegetación original. En el campo se ha observado eutrofización por el vertido de granjas próximas y sustitución de la vegetación halófila por otra nitrófila (como se detalla más abajo).

En los años 80, los planes de regadío se extienden al sur declarándolo zona regable de interés nacional (Real Decreto 371/1985). Una queja interpuesta por los ecologistas ante la UE paraliza las obras y hace que se reduzcan los límites de superficie regable. No obstante, en la actualidad, el paisaje está sufriendo una alteración

derivada de las obras de conducciones de riego y drenaje (Figura 4c) y se observa una nueva red de caminos más anchos y cuadriculados en torno al parcelario, junto a la conservación de una parte del entramado antiguo. Se ha reducido la superficie ocupada por humedales (Figura 4c), algunos sólo presentan vestigios de sus taludes apenas marcados; mientras que otros, interrumpen el entramado de la parcelación agrícola en la medida que conservan parte de su talud, de la vegetación natural, y de los fondos inundables. La vegetación natural, muchas veces, queda confinada a los taludes más escarpados y fondos menos fértiles, donde el cultivo se complica. Otras veces, la existencia de manchas de humedad, o rodales de escasa productividad (Astorquiza, 1994), se intuyen como humedales desaparecidos, como la salada Hoyo del Lugar, en la Figura 4. En el terreno aún se perciben, escondidos tras las suaves ondulaciones.

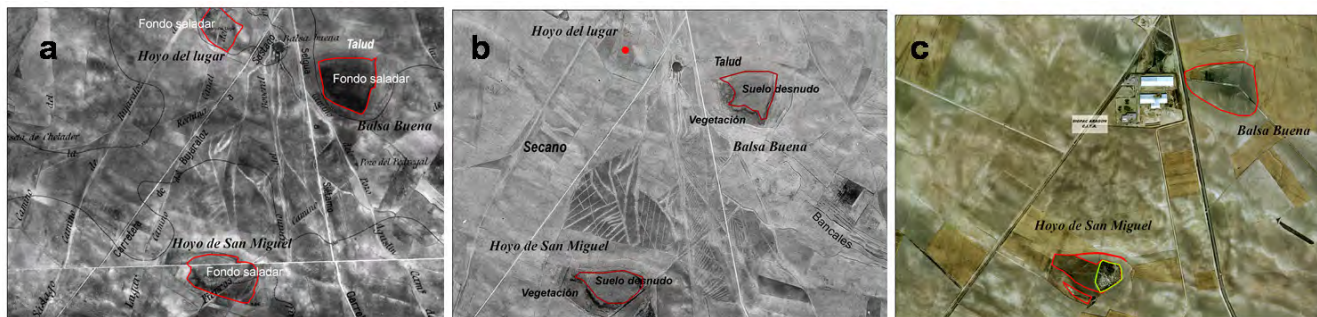


Figura 4. Modificaciones del paisaje desde 1927 hasta la actualidad. Fotoplano de 1927 (a) fotografía aérea de 1957 (b) y ortofoto SIGPAC de 2000 (c).

Como ejemplo, se muestran los cambios acontecidos en un humedal próximo a Bujaraloz, el Salobral. En el año 1956 (Figura 5a) el humedal conserva en gran parte vegetación natural. Esto se aprecia en las texturas moteadas, más bien dispersas, al oeste de la salada. El talud derecho se conserva abancalado, y la salada está cruzada por caminos visibles en el centro y los bordes. El fondo parece seco y desnudo, posiblemente con eflorescencia. A la izquierda de la salada, las parcelas de cultivo se desdibujan debido a la escasa gama de grises; alguna presenta textura, quizá de viña u olivar.

En la ortofoto de la Figura 5b, la salada aparece claramente alterada. Rodeada de regadío, recibe los flujos de retorno y presenta agua, habiendo desaparecido los caminos del interior. La vegetación natural y la mitad de su fondo están cubiertos con vertidos. Éstos dan texturas más claras e irregulares, quizá debidas a desbancalamientos o quizá a expansión del núcleo de población. Los “blanqueros” que se observan al noroeste se intuyen como zonas de baja productividad y se asemejan a afloramientos de calizas o de yesos.

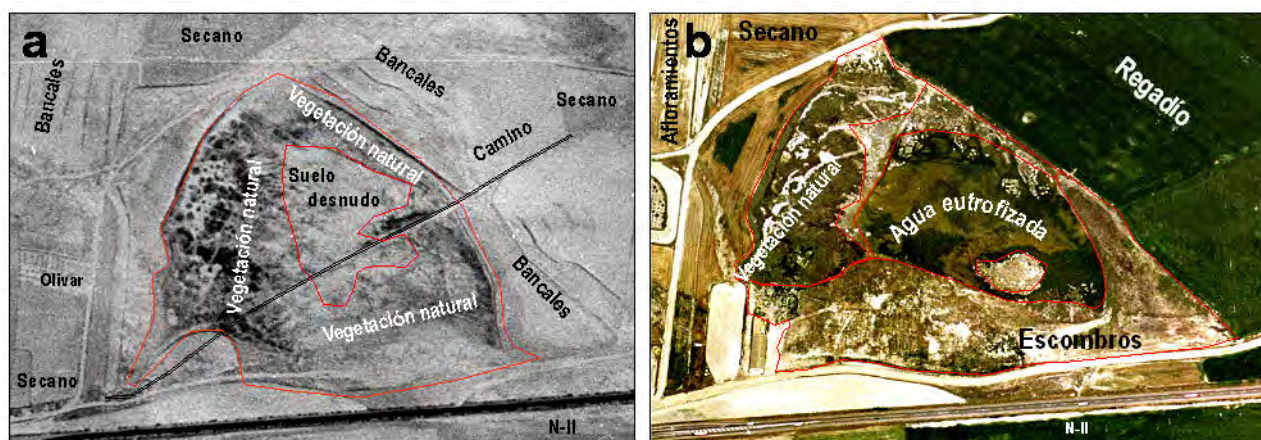


Figura 5. Fotografía aérea de 1956 (a) y ortofoto SIGPAC (b). Cambios ocurridos en la salada El Salobral.

También se observa, raras veces, un proceso inverso. Como ejemplo, el fondo de Benamud aparece segmentado por cultivos en 1927 (Figura 6a) y más homogéneo en la actualidad (Figura 6b). Quizá su roturación se favoreció por la proximidad al núcleo de población y la accesibilidad por el talud menos escarpado de la val. Posteriormente, la escasa producción pudo dar lugar a su abandono. En este caso, el rastro de las acciones antrópicas de décadas anteriores, incluido 1956, ha desaparecido. En el presente, la vegetación natural, confinada por las laderas labradas de la val, se está recuperando. Sin embargo, otras saladas como Hoyo Botones, al oeste de Benamud, no estaban labradas en 1956 y ahora lo están.

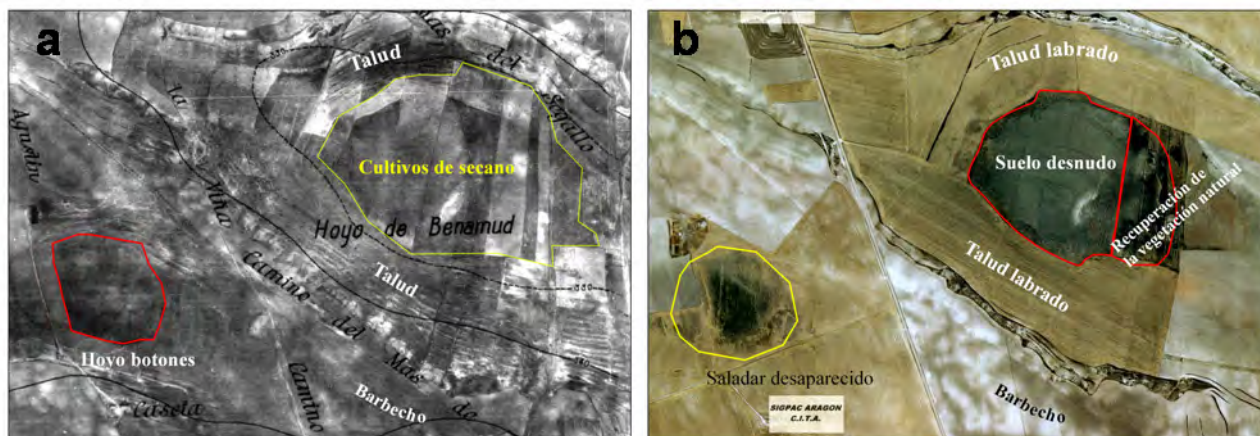


Figura 6. Salada Benamud en 1927 (a) y 2000 (b). En amarillo, saladas cultivadas o labradas. En rojo, saladas con vegetación natural en la fecha de fotografía.

La alternancia de uso y el abandono han transformado el mosaico paisajístico desde 1927, con gran diversidad de texturas relacionadas con ambientes naturales, frente a la homogeneidad de los cultivos. Se ha producido una reorganización del pequeño mosaico hacia grandes parcelas adecuadas para el cultivo extensivo del cereal totalmente mecanizado, actualmente en transformación al regadío.

Desde los años 80 se ha impuesto una nueva concepción de la agricultura determinada por la Política Agraria Común (García, 2006) que subvenciona el cultivo, a pesar de la escasa producción, y no favorece la conservación de estos humedales.

CONCLUSIONES

La información disponible se ha integrado en un Sistema de Información Geográfica para el tratamiento, análisis y obtención de resultados. La fotografía aérea ha aportado un valor añadido al inventariado de humedales salinos como estudio retrospectivo del paisaje.

La extracción de información queda limitada por las diferencias de escala y las deformaciones geométricas de la fotografía. No obstante el objetivo del trabajo no ha sido tanto la delimitación exacta de humedales como su localización, identificación y su evolución en el tiempo. En cualquier caso la mayor pérdida de información procede de la degradación de los documentos en papel por el paso de los años.

La fotointerpretación ha permitido entender e incorporar al inventario las transformaciones acontecidas aportando una visión integradora de los patrones que componen el paisaje y su relación con los humedales en el pasado y presente. Esto se ha reforzado con la incorporación y consulta de datos posibilitadas por el SIG. La elaboración de un inventario de humedales salinos tiene que ser complementada con la superposición de otras capas de información extraídas de la fotointerpretación y con mapas e información acerca de la biodiversidad. Con ello se tendrá la base para redactar una propuesta de inclusión en la Lista RAMSAR.

Los cambios observados en los usos del suelo muestran un incremento en la superficie roturada, una modificación de los patrones de cultivo y una alteración de los humedales.

En resumen, en poco tiempo se ha modificado el “color” de un paisaje de secano donde habían subsistido hombre, campo y saladar, a otro de grandes explotaciones de cultivo intensivo que dan paso a un paisaje de conducciones y drenajes vertebrado por el agua riego.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el MICINN a través del proyecto AGL2006-01283. M. Domínguez disfruta de una beca predoctoral INIA (BOE de 02/12/2005). Se agradecen las sugerencias y comentarios del Dr. Juan Herrero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Astorquiza, I. (1994): Transformación en regadío de zonas con condiciones naturales limitantes. Evaluación de la sostenibilidad de Monegros II. *Revista de Estudios Agrosociales*, 167: 209-227.
- Balsa, J., Guerrero, C., Pascual, M.L. y Montes, C. (1991): *Las saladas de Bujaraloz-Sástago y las saladas de Chiprana: riqueza natural de Aragón*, Empelte, 7: 1-30.
- Braun-Blanquet, B. y Bolòs, O. (1958): Les groupements végétaux du bassin moyen de l'Ebre et leur dynamisme, *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei*, 5: 1-266.
- Castañeda, C. (2002): *El agua de las saladas de Monegros estudiada con datos de campo y de satélite*. Consejo de Protección de la Naturaleza, Zaragoza, 158 pp.
- Castañeda, C. y Herrero, J. (2005): The water regime of the Monegros playa-lakes established from ground and satellite data. *Journal of Hydrology*, 310: 95-110.
- Castañeda, C. y Herrero, J. (2008): Measuring the condition of saline wetlands threatened by agricultural intensification. *Pedosphere* 18 (1): 11-23.
- Castelló, A. (1984): Los usos del suelo en la comarca de Monegros. *Argensola*, 98: 231-268.
- Costa, L.T., Farinha, J.C., Hecker, N., Tomàs-Vives, P. (1996): Mediterranean Wetland Inventory: A reference manual. MedWet/Instituto *Conservação da Natureza/Wetlands Internacional Publication*, vol 1.
- De los Ríos, F. (1982): Informe sobre los Monegros. *Geographicalia*. Institución Fernando el Católico-C.S.I.C., Zaragoza, 136 pp.
- De Asso, F. (1789): *Historia de la economía política de Aragón*. <http://www.bivida.es>
- Domínguez, M., Conesa, J., Pedrol, J., y Castañeda, C. (2006): Una base de datos georreferenciados de la vegetación asociada a las saladas de Monegros. Granada, *XII Congreso Nacional de tecnologías de la información geográfica*.

- European Commission (2003): *Natura 2000. Interpretation Manual of European Union Habitats*. DG Environment. Nature and Biodiversity:
[\[http://europa.eu.int/comm/environment/nature/nature_conservation/eu_enlargement/2004/pdf/habitats\]](http://europa.eu.int/comm/environment/nature/nature_conservation/eu_enlargement/2004/pdf/habitats)
- Fordam, R., y Godron, M. (1986): *Landscape ecology*. John Wiley, New York, 619 pp.
- García, J.M. (2006): *La reforma de la Política Agraria Común*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, 242 pp.
- Gómez, C y Gimeno, J.C. (2003):. *La colonización agraria en España y Aragón 1939-1975*. Ayuntamiento de Alberuela de Tuboy. 222 pp.
- González, F. (2002): *Los paisajes del Agua: Terminología popular de los humedales*. Ed. J.M. Regalés, Madrid, 257 pp.
- Martínez-Cob, A., Faci, J.M. y Bercero, A. (1998): *Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón*. Institución Fernando el Católico, Zaragoza, 223 pp.
- Naveh, Z. y Lieberman, A.S. (1994): *Landscape ecology: theory and application*. New York, Springer-Verlag. Nature conservation and land resources, 360 pp.
- Pedrocchi, C. (Coord.) (1989): *Evaluación preliminar del impacto ambiental de los regadíos en el polígono de Monegros II*, Tomo II. CSIC-IPE-MOPU, Zaragoza-Huesca, 388 pp.
- Pedrocchi, C. (1998): *Ecología de los Monegros*. Instituto de Estudios Altoaragoneses, Huesca, 430 pp.
- Ramsar Convention Secretariat (2006): *The Ramsar Convention Manual: a guide to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971)*, 4th ed. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland.
- Robinson, A.H et al. (1987): *Elementos de cartografía*. Omega, Barcelona, 543 pp.
- Terradas, J. (1986): El paisatge vegetal dels Monegros: assaig d'interpretació. *Orsis*, 2: 71-95.
- Zalidis, G.C., Mantzavelas, A.L., y Fitoka, E.N. (1996): *Mediterranean Wetland Inventory: Photointerpretation and cartographic conventions* MedWet/Instituto Conservação da Natureza/Wetlands Internacional Publication, vol IV.

García, Mariano; Riaño, David;; Prado, Elena; Chuvieco, Emilio y Danson, Mark (2008): Ajuste planimétrico de datos LiDAR para la estimación de características dasométricas en el parque natural del Alto Tajo. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 576-587. ISBN: 978-84-96971-53-0.

AJUSTE PLANIMÉTRICO DE DATOS LIDAR PARA LA ESTIMACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS EN EL PARQUE NATURAL DEL ALTO TAJO

García, Mariano¹; Riaño, David^{2,3}; Prado, Elena²; Chuvieco, Emilio¹ y Mark Danson⁵

¹ Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, 28801. Madrid. mariano.garcia@uah.es ; emilio.chuvieco@uah.es

² Instituto de Economía y Geografía, Consejo Superior de Investigaciones científicas (CSIC), Albasanz 26-28 28037 Madrid (Spain). driano@ieg.csic.es

³Center for Spatial Technologies and Remote Sensing (CSTARS), University of California, 250-N, The Barn, One Shields Avenue, Davis. CA 95616-8617, USA

⁴ Área de Teledetección, Instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial (INTA), Crta. de Ajalvir Km 4, 28850 Torrejón de Ardoz, Madrid pradooe@inta.es

⁵ Centre for Environmental Systems Research, School of Environment and Life Sciences, University of Salford, Manchester M5 4WT, UK.

RESUMEN

Los datos LiDAR (Light Detection and Ranging) han mostrado un gran potencial para multitud de aplicaciones, tanto urbanas como ambientales. Este potencial recae en la habilidad de los sistemas LiDAR para generar densas nubes de puntos que describen la superficie del terreno. Sin embargo, depende de la precisión con la que se determina la posición de estos puntos. Los errores en la determinación de las coordenadas de los puntos quedan reflejados como desplazamientos relativos entre los puntos de zonas cubiertas por datos tomados desde distintos puntos.

Este artículo propone un método para corregir las discrepancias planimétricas observadas en un conjunto de datos LiDAR. Primero se generaron imágenes de intensidad. Posteriormente, se extrajeron puntos de control mediante una técnica de correspondencia de imágenes, utilizados posteriormente para determinar los parámetros de una transformación global por mínimos cuadrados. Esta técnica mostró buenos resultados en el área de estudio, reduciendo significativamente las discrepancias planimétricas observadas (RMSE: 0.5 y 1.4 m X, Y a RMSE:0.24 y 0.3 m en X, Y).

Una vez corregidos los datos, se generaron un modelo digital del terreno (MDT) y un modelo digital de superficie (MDS), que permitieron derivar la altura de la vegetación presente en el área de estudio.

Palabras Clave: LiDAR, ajuste planimétrico, correspondencia de imágenes, mínimos cuadrados, altura de la vegetación.

ABSTRACT

LiDAR (Light Detection and Ranging) data have shown a great potential for 3D modelling applications. This potential lies on the ability of LiDAR systems to generate highly dense 3D point clouds for describing the terrain surface. Several error sources affect the position accuracy of the 3D points, which are represented as offsets between the overlapping areas. Several methods have been developed to correct these displacements using height or intensity data.

This paper proposes a three steps procedure to correct the offset observed between two LiDAR dataset. Firstly intensity images were generated. Secondly, an area based image correlation technique was applied to extract evenly distributed control points. Finally the control points were used to determine the parameters of a global transformation by least squares. The technique showed good performance for the study area reducing significantly the planimetric discrepancies observed.

Once the data were corrected, a digital terrain model (DTM) and a digital surface model (DSM) were derived, which allowed to compute the vegetation height by a simple difference of DSM-DTM.

Key Words: LiDAR, planimetric adjustment, image matching, least squares

INTRODUCCIÓN

Los sistemas LiDAR (Light Detection and Ranging) están siendo usados para la adquisición de datos en un número cada vez mayor de aplicaciones. Entre estas aplicaciones se encuentran la generación de modelos digitales del terreno y/o de superficie (MDT/MDS), modelos urbanos tridimensionales, estimación de diversos parámetros forestales (alturas, volúmenes, biomasa, etcétera), cartografía de líneas eléctricas o estudios batimétricos (Maas and Vosselman, 1999; Næsset *et al.*, 2004, Irish and White, 1998). El gran potencial mostrado por esta técnica en dichas aplicaciones recae sobre su habilidad para generar una densa nube tridimensional de puntos que describen la superficie terrestre.

El principio de funcionamiento consiste en la emisión de un pulso láser y en la determinación de la distancia entre el sensor y objeto sobre el que incide el pulso láser, en función del tiempo que tarda en volver el pulso. Los componentes del sistema pueden agruparse en las siguientes unidades: Unidad de medida de distancias, escáner, y la unidad de control y procesamiento, la cual incluye un sistema GPS/IMU que permite determinar la posición y orientación del sensor (Wehr y Lohr, 1999). La combinación de los datos proporcionados por estos subsistemas, permite determinar la coordenadas (X, Y, Z) del punto donde se refleja el punto emitido. En cuanto al principio de medida de distancias podemos distinguir dos métodos fundamentales. El primero consiste en medir el tiempo transcurrido desde la emisión de un pulso hasta su recepción, mientras que el segundo se basa en determinar la diferencia de fase entre el pulso emitido y el recibido. El tiempo empleado por el pulso en recorrer la distancia sensor-objeto es directamente proporcional a la diferencia de fase. El primer método es empleado por la mayoría de los sistemas comerciales.

La precisión en la determinación de las coordenadas de la nube de puntos generada por el sistema, está afectada por una serie de fuentes de error que pueden agruparse en (Huising and Gomes Pereira, 1998; Maas, 2001):

- Errores de alineación entre el sistema láser, el avión y el sistema de navegación que causarán errores sistemáticos en los datos.
- Precisión en la determinación de la distancia. Este error se propaga fundamentalmente en la coordenada Z.
- Error del espejo, causado principalmente por problemas mecánicos (vibraciones y oscilaciones), y se transmite en mayor medida a las coordenadas planimétricas.
- Errores del sistema GPS/INS. Puede considerarse como la mayor fuente de error, con errores de 10 a 20 centímetros en altitud y de hasta 50 centímetros en X e Y.

El efecto de estos errores queda reflejado como desplazamientos en las áreas de solape de las pasadas adyacentes o transversales en términos relativos o respecto a superficies de control en términos absolutos. Para reducir estas discrepancias encontradas se han propuesto diversas metodologías empleando técnicas de correspondencia mediante mínimos cuadrados entre las nubes de puntos en cuestión (Maas, 2002), elementos lineales o superficiales (Lee et al. 2007, Vosselman, 2002a; Pfeifer et al. 2005) o bien sobre imágenes de intensidad generadas por interpolación a partir de la nube de puntos proporcionada por el sistema LiDAR (Maas, 2001; Vosselman, 2002b).

Estas técnicas propuestas se han aplicado fundamentalmente para lograr un ajuste relativo entre las distintas pasadas que componen un vuelo, pero pueden ser también aplicadas sobre datos de una misma zona tomados en dos momentos distintos. Así mismo, se han aplicado sobre áreas en las que podían extraerse fácilmente elementos lineales o superficiales que facilitasen el proceso de correspondencia. El principal objetivo de este artículo es mostrar la utilidad de las técnicas de correlación de imágenes basadas en áreas sobre datos de intensidad para el ajuste planimétrico de datos LiDAR en un área forestal, donde la aplicación de técnicas basadas en características (lineales o superficiales) resulta compleja. Además permitirá aumentar la densidad de puntos por metro cuadrado, variable que ha mostrado ser más importante que el tamaño de la huella en la estimación de ciertas variables como el área y el volumen de copa (Goodwin et al., 2006). Se propone una metodología en tres pasos que permite la extracción de puntos de control distribuidos homogéneamente por la imagen mediante la aplicación de una técnica de correlación basada en áreas. Estos puntos son posteriormente empleados para determinar, por mínimos cuadrados, los parámetros de una transformación global afín bidimensional.

ANTECEDENTES

La existencia de errores, tanto sistemáticos como accidentales, en la adquisición de los datos, queda reflejada como un desplazamiento relativo entre los datos de dos líneas de vuelo con una zona común. Esto ha dado lugar al desarrollo de diversos procedimientos para la corrección de dichos errores. Las metodologías empleadas pueden agruparse de acuerdo a distintos criterios como por ejemplo según tipo de desplazamiento corregido (planimétrico, altimétrico o 3D), correlación basada en elementos o en áreas, o bien según el tipo de dato empleado (altura o intensidad). Pfeifer et al. (2005) agrupan los distintos métodos en aquellos que sólo consideran las discrepancias observadas entre los puntos de dos líneas de vuelo adyacentes, y aquellos métodos que se basan en un 'modelo del sensor' que permita relacionar cada punto con sus datos de observación originales, es decir, métodos que permiten traducir los desplazamientos observados a parámetros de orientación externa. A continuación se describirán las principales metodologías empleadas, considerando en primer lugar aquellas que utilizan la nube de puntos para determinar las discrepancias en las tres coordenadas (X, Y, Z), y posteriormente, aquellas metodologías que permiten la determinación de los desplazamientos planimétricos (X, Y) mediante el uso de la intensidad del retorno.

Ajuste de datos a partir de datos de altura

La mayor parte de las metodologías propuestas emplean la nube de puntos LiDAR para determinar los desplazamientos relativos entre pasadas. La determinación de desplazamientos implica la segmentación de la nube de puntos original en elementos superficiales o lineales utilizados como elementos de enlace que son posteriormente comparados y ajustados. Pfeifer *et al.* (2005) propusieron un método para determinar la diferencia en Z que comparaba la altura de una superficie con respecto al plano formado por los puntos de la pasada o pasadas adyacentes, permitiendo determinar la diferencia de altura entre ambas pasadas.

El uso de elementos lineales, tales como líneas de cumbre de tejados, simplifica el proceso e incrementa la precisión de la determinación de discrepancias de coordenadas (Lee *et al.* 2007). Vosselman (2002a) propuso un método de ajuste por mínimos cuadrados utilizando elementos lineales para determinar el desplazamiento observado en la zona común de dos líneas de vuelo. En este caso los elementos lineales utilizados fueron líneas de cumbre de tejado establecidas manualmente en zonas urbanas o linderos en zonas agrícolas. En ambos casos los autores propusieron un modelo geométrico para la definición de dichos elementos, que permitió establecer las ecuaciones de observación empleadas en el ajuste posterior por mínimos cuadrados. Lee et al. (2007) también propusieron el uso de elementos lineales para determinar el desplazamiento, no sólo altimétrico sino en las tres direcciones (X, Y, Z). El algoritmo propuesto por estos autores se divide en cinco pasos donde primero se determinan los desplazamientos planimétricos (X, Y) y luego se corrige la altura. El algoritmo implica en primer lugar generar una estructura de datos, en este caso una estructura TIN (Triangular Irregular Network). Posteriormente se procede a una segmentación de los puntos en elementos superficiales, como por ejemplo tejados. Luego se procede a determinar la línea de intersección de dichos planos y se determina la distancia entre estas líneas, lo que permite establecer un modelo de transformación global que se aplica a los datos de una de las pasadas para corregirlos.

La utilización de una estructura TIN de datos para la determinación de discrepancias en coordenadas fue propuesta inicialmente por Maas (2000), aplicando un ajuste por mínimos cuadrados sobre dicha estructura de datos. En este caso varios planos, generalmente de forma circular o rectangular, son seleccionados. La altura de un punto dado en una de las líneas de vuelo es comparada con la altura que, en la misma posición, presenta una estructura TIN obtenida a partir de los datos de la otra línea de vuelo. Esta comparación proporciona una ecuación de observación que se utiliza posteriormente para determinar los parámetros de ajuste. La estructura TIN tiene la ventaja de que se utilizan los datos originales no interpolados. Evitando los sesgos introducidos por interpolación en las estructuras ráster, especialmente en las zonas de oclusión. Sin embargo, a pesar de las ventajas de una estructura TIN sobre una estructura ráster, el método propuesto por Maas (2000) requiere que los planos utilizados presenten un contraste altimétrico significativo en las tres direcciones para poder determinar tanto los desplazamientos altimétricos como los planimétricos. El autor también propone la aplicación de restricciones al modelo para poder limitar la determinación de desplazamiento al plano vertical u horizontal.

Ajuste de datos a partir de datos de intensidad

Aunque la mayoría de los procedimientos propuestos para corregir las discrepancias se han centrado en la corrección de las coordenadas Z, también se han propuestos algunos métodos dirigidos exclusivamente a la determinación del error de las coordenadas planimétricas (Vosselman, 2002b, Maas, 2001,2002). Estos métodos se han basado en la determinación de discrepancias planimétricas utilizando técnicas de correspondencia entre imágenes o *matching* generadas por interpolación a partir de los datos LiDAR. En estas imágenes los niveles digitales (ND) no significan valores de reflectividad, sino de intensidad, que representa la *fuera* con la el retorno es registrado por el sistema. Las técnicas de correspondencia entre imágenes se aplican comúnmente en fotogrametría y en teledetección aeroportada para la determinación automática de detalles o entidades homólogas puntuales, lineales y superficiales en una o múltiples imágenes tomadas desde distintos puntos de vista. Los métodos utilizados en correspondencia de imágenes pueden agruparse en (Lerma, 2002):

- Métodos basados áreas o intensidades (valores de ND): Se basan en el ajuste radiométrico de puntos o superficies en una o varias imágenes
- Métodos basados en entidades: En la comparación y determinación de entidades homólogas se emplean ciertas entidades obtenidas a partir de las imágenes originales (esquinas, intersecciones,...). Los criterios de similitud tienen en cuenta la forma, el signo, la longitud y el gradiente.
- Métodos relacionales: Se basa en la detección topológica de estructuras y objetos definidos en bases de datos con descripciones de los objetos.

En el caso de los métodos de correspondencia aplicados a imágenes de intensidad, pueden incluirse en el grupo de métodos basados en entidades. Sin embargo, la aplicación de estos métodos es adecuada en zonas donde pueden encontrarse fácilmente entidades homólogas, tales como zonas urbanas, pero no tanto en zonas donde la definición de elementos característicos sea más compleja.

ÁREA DE ESTUDIO Y DATOS

El presente estudio se realizó sobre una zona forestal situada en el Parque Natural del Alto Tajo en Guadalajara (UL: 40° 56' 49'' N; 2° 14' 49'' W; LR: 40° 48' 25'' N; 2° 13' 21'' W), incluyendo parte de la zona afectada por el incendio de Riba de Saelices de 2005. El área de estudio presenta una gran diversidad de especies, siendo relevantes los extensos pinares de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), laricio (*Pinus nigra* Arn.) y resinero (*Pinus Pinaster* Ait.). También puede encontrarse quejigo (*Quercus faginea* Lam.), encina (*Quercus ilex* L.), sabina (*Juniperus thurifera* L.) y melojo (*Quercus pyrenaica* Willd.). La altura media del área de estudio es de 1200 m, variando entre 895 m y 1403 m.

El área de estudio fue volada en dos fechas próximas al final del periodo de primavera de 2006, el 16 de mayo y el 3 de junio. Se utilizó un sistema LiDAR Optech 3033. La altura media de vuelo fue de 2050 m sobre el nivel del mar con un ángulo máximo de escaneo de $\pm 12^\circ$, y una densidad de puntos de aproximadamente 2 puntos/m², siendo la distancia entre dos puntos contiguos de una misma línea de aproximadamente 1.2 m. En cada uno de los vuelos se realizaron tres pasadas en dirección Norte-Sur, sin solape. En el primero de ellos también se realizó un vuelo transversal Este-Oeste para la calibración. El área cubierta por el vuelo fue de aproximadamente 382 km². Los datos proporcionados incluían coordenadas (X,Y,Z) del primer y último retorno en proyección UTM huso 30 en el sistema WGS84, y el valor de intensidad total de cada retorno.

METODOLOGÍA

Un análisis del ajuste relativo entre los datos de los dos vuelos reveló un desplazamiento relativo sistemático en la dirección XY, no así en Z. Por tanto, para la determinación del desplazamiento existente entre los datos, se aplicó una técnica de correspondencia sobre las imágenes de intensidad basada en áreas debido a las caracte-

rísticas de la zona de estudio que, al tratarse de una zona forestal, dificultaba la aplicación de técnicas basadas en entidades.

El método presentado en este artículo consta de tres pasos. En primer lugar, se generaron las imágenes de intensidad a partir de la nube de puntos correspondiente. Posteriormente, se aplicó una técnica de correlación de imágenes sobre cada una de las pasadas para extraer un número suficiente de puntos de control regularmente distribuidos por la imagen. Finalmente, a partir de los puntos de control extraídos en la fase anterior, se determinaron por mínimos cuadrados los parámetros de una transformación global. Debido a que el desplazamiento observado en los datos era sistemático, se aplicó una transformación afín bidimensional (2D) para corregir los datos.

Generación de imágenes de intensidad

La aplicación de los métodos de *matching* basados en áreas requiere la generación previa de una imagen ráster a partir de los datos LiDAR originales, de manera que pueda compararse la distribución de los niveles de gris o niveles digitales de ambas imágenes. Por tanto, los datos originales fueron interpolados a una imagen con una resolución espacial de 0.5m, utilizando como método de interpolación el método *normal core*. Este método utiliza los valores de intensidad de un número de puntos que se encuentren dentro de un radio que define el área de interpolación. Los valores interpolados se calculan como una media ponderada por la distancia, sin embargo, la función de pesos no es lineal sino que decrece con una función exponencial de la distancia (Wyseman, PCI Geomatics, comunicación personal). Las imágenes de intensidad presentan un característico efecto de moteado (*speckle*). Este ruido en las imágenes de intensidad es común a las imágenes de intensidad como consecuencia de una serie de factores entre los que se pueden mencionar (Vosselman, 2002b):

- El modo en que el escáner mide la intensidad. Ésta es medida en un instante de tiempo dado, en vez de integrar la intensidad en un pequeño periodo de tiempo.
- La cantidad de detalles existentes entre los puntos láser puede ser muy elevada, lo que incrementa el ruido.
- El tamaño de la huella es mucho menor que la distancia entre los puntos, por lo que la intensidad recogida sólo representa una pequeña parte del terreno, incrementando el ruido.

Para reducir este efecto en las imágenes generadas y eliminar valores extremos, se aplicó un filtro de mediana, con un tamaño de ventana de 3x3 (figura 1). Para ver la influencia de este suavizado en la correspondencia entre imágenes, se compararon los resultados obtenidos sobre las imágenes de intensidad original y las imágenes filtradas.

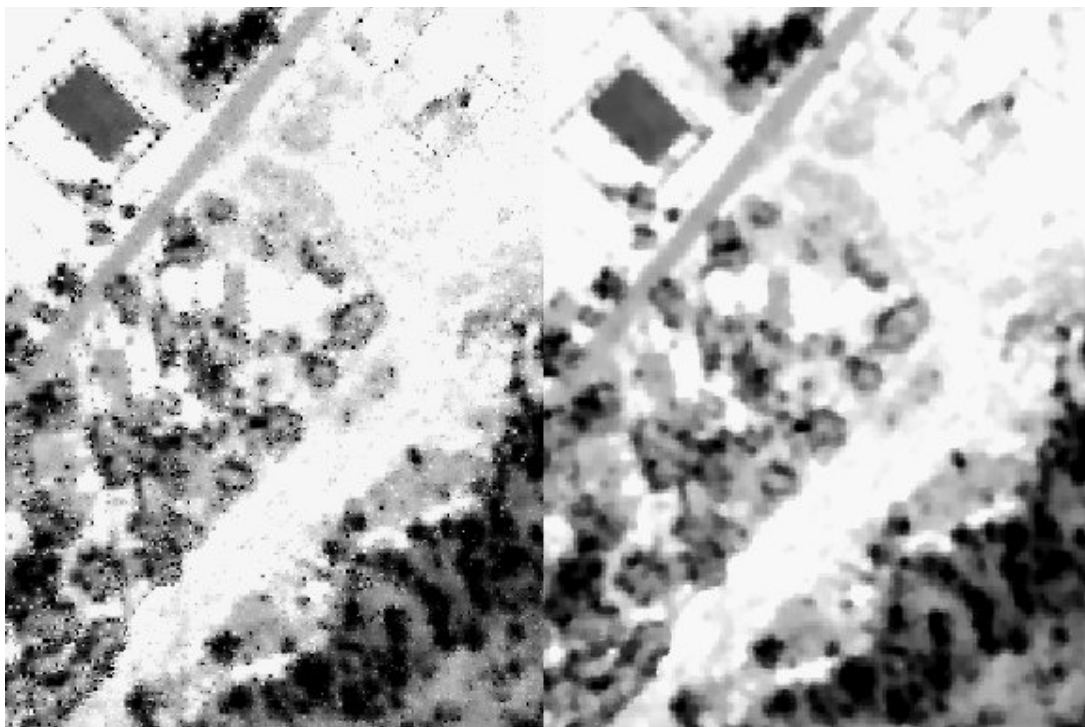


Figura 1. imagen de intensidad generada a partir de lo datos LiDAR (izquierda). Imagen filtrada aplicando un filtro de mediana 3x3 (derecha)

Determinación de discrepancias planimétricas

Los métodos de correspondencia de imágenes basados en áreas se basan en la asunción de que píxeles homólogos tienen valores similares de reflectividad. Estos métodos buscan maximizar una función predefinida que mida la similitud entre los píxeles. Entre las medidas de similitud más utilizadas se encuentran el coeficiente de correlación, la correlación cruzada normalizada, o información mutua, basadas en ventanas de referencia (Liu et al. 2006). Esta ventana de referencia puede ser toda la imagen o una parte de la misma. En este caso, se determinó el desplazamiento planimétrico sobre toda la imagen utilizando una rutina desarrollada por Prado (2007). La medida de similitud empleada fue el coeficiente de correlación, al tratarse de una de las medidas más comúnmente empleadas. La rutina compara dos matrices, una considerada como ventana de referencia (maestra) y otra como ventana a ajustar (esclava), la cual se desplaza sobre la primera. Se estableció un tamaño de ventana de 100x100 píxeles. Para cada desplazamiento de la ventana esclava sobre la maestra (hasta ± 3 píxeles en X e Y) se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r). Como resultado la rutina proporciona una imagen donde el valor de cada píxel representa el máximo valor de correlación encontrado en los desplazamientos de la ventana esclava sobre la maestra. También genera dos imágenes en las que el valor del píxel representa el desplazamiento encontrado entre ambas imágenes. Estas imágenes de desplazamientos permiten detectar posibles patrones de error.

Puesto que es muy difícil obtener una correlación máxima ($r=1$) como consecuencia del posible ruido, efectos de iluminación, en el caso de las imágenes generadas a partir de datos LiDAR, a que es prácticamente imposible que dos pulsos incidan exactamente en el mismo punto, se suele establecer un umbral para de aceptación. De manera que los píxeles con valor inferior a dicho umbral son descartados. Un valor típico empleado es $r=0.5$, que equivale a decir que la señal ruido es mayor a 1 (Lerma, 2002). En este estudio se seleccionó un umbral de $r=0.8$ a los valores de correlación para seleccionar los puntos de control que serán utilizados posteriormente en la determinación por mínimos cuadrados, de los parámetros del modelo de transformación afín. Además, se superpuso una cuadrícula regular sobre la imagen de correlación, de manera que se extrajeron como puntos de control aquellos puntos de la cuadrícula coincidentes con píxeles que en la imagen de correlación tuviesen un valor mayor o igual a $r=0.8$. Esto permitió disponer de puntos uniformemente distribuidos por toda la imagen.

Modelo de Transformación Global

Los coeficientes de correlación calculados en la fase anterior representan una función discreta. Para poder mejorar la determinación de los desplazamientos, es decir, para alcanzar una precisión subpíxel, es posible aplicar algún método matemático como por ejemplo, ajustar un polinomio a la función de correlación o determinar los parámetros de transformación por mínimos cuadrados (Lerma, 2002).

Para este estudio, puesto que los desplazamientos observados no mostraron deformaciones locales, se aplicó una transformación afín bidimensional para corregir los desplazamientos planimétricos observados. Aproximadamente un 85% de los puntos seleccionados en cada pasada se utilizaron para obtener los parámetros de transformación, mientras que el 15% restante se utilizaron para validación. Finalmente la transformación se aplicó a los datos del 3 de junio para ajustar a los datos del 16 de mayo.

El modelo matemático de la transformación afín bidimensional puede representarse como:

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & f & e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Donde a, b, c, d, e, y f representan los parámetros geométricos de la transformación, (X',Y') son las coordenadas transformadas y (X,Y) son las coordenadas observadas.

Determinación de la altura de la vegetación

Una vez determinados y corregidos los desplazamientos entre los dos vuelos se procedió a determinar la altura de la vegetación presente en el área de estudio. En primer lugar fue necesario clasificar la nube de puntos si pertenecían al terreno, diferenciándolos del resto de puntos correspondientes a vegetación y otros elementos presentes sobre la superficie terrestre, tales como líneas eléctricas o edificios. Posteriormente dichos puntos fueron interpolados para generar el modelo digital del terreno (MDT) y el modelo digital de superficie (MDS), con una resolución de 0.5 m. Finalmente, se procedió a determinar la altura de la vegetación presente en el área de estudio. Esta variable puede obtenerse directamente a partir de los datos LiDAR simplemente como la diferencia entre las alturas del MDS y las alturas del MDT:

$$H_{vegetación} = MDS - MDT \quad (2)$$

RESULTADOS

Corrección de las discrepancias planimétricas

La tabla 1 presenta los coeficientes de correlación medios obtenidos para cada una de las pasadas. Se observa cómo se obtienen mejores correlaciones para las imágenes filtradas, ya que reduce el efecto que el ruido de las imágenes de intensidad tiene en el proceso de correspondencia entre imágenes. También se presentan los valores máximos de desplazamiento (ΔX_{max} , ΔY_{max}) encontrados en los puntos de control, así como el número de puntos de control y validación obtenidos para cada imagen. Como puede observarse en la tabla, los desplazamientos encontrados fueron mayores para la coordenada Y que para la coordenada X. Además se observa un cambio en el signo de acuerdo a la dirección de vuelo seguida en cada pasada, es decir, las líneas primera y tercera se volaron en dirección Norte-Sur, mientras que la segunda se voló en dirección Sur-Norte. En cuanto a los valores de correlación, se observa un valor medio ligeramente menor para la primera pasada debido a que las características del área cubierta por esta línea de vuelo dificultaban la correspondencia. Esto también queda

reflejado por el número de puntos de control y de validación que se extrajeron para esta línea, prácticamente la mitad que para las otras dos pasadas.

Tabla 1. Coeficientes de correlación y puntos de control extraídos (*1f, 2f, 3f: se refieren a los datos del primer día; 1s, 2s, 3s: se refieren a los datos del segundo día)

Pasada *	r medio imagen intensidad	r medio imagen intensidad filtrada	Puntos de Control	Puntos de Validación	ΔX_{\max} (m)	ΔY_{\max} (m)
1f-1s	0.40	0.48	40	7	-1	1.5
2f-2s	0.48	0.55	82	12	1	-1.5
3f-3s	0.45	0.54	94	14	-1	1.5

La tabla 2 muestra los parámetros geométricos de la transformación afín bidimensional obtenidos mediante mínimos cuadrados. Estos parámetros fueron posteriormente aplicados a los datos originales del segundo vuelo para ajustar a los datos del primero.

Tabla 2. Parámetros geométricos de la transformación afín 2D

Pasada	a	b	c	d	e	f
1f-1s	0.999404	6.603×10^{-6}	305.44531	-0.000117	0.9999860	130.438
2f-2s	0.999930	-8.749×10^{-6}	435.69531	-0.001187	1.0000110	620.500
3f-3s	0.998103	-2.1434×10^{-5}	1169.3632	0.000204	0.9999997	-113.031

La aplicación de estos parámetros a los datos del primer vuelo permitió reducir notablemente las discrepancias observadas en un principio (tabla 3)

Tabla 3: Error medio cuadrático en X e Y antes y después de ajustar los datos

Pasada	RMSE-X antes (m)	RMSE-Y antes (m)	RMSE-X después (m)	RMSE-Y después (m)
1f-1s	0.46	1.41	0.24	0.33
2f-2s	0.56	1.45	0.24	0.27
3f-3s	0.55	1.29	0.23	0.30

La figura 2 muestra un perfil vertical de una de las pasadas antes y después de corregir las discrepancias planimétricas observadas. Puede observarse cómo inicialmente los datos presentaban un desplazamiento sistemático, el cual desaparece después de aplicar la transformación afín bidimensional. Los datos del primer vuelo se representan mediante puntos, mientras que los del segundo vuelo se representan mediante cruces.

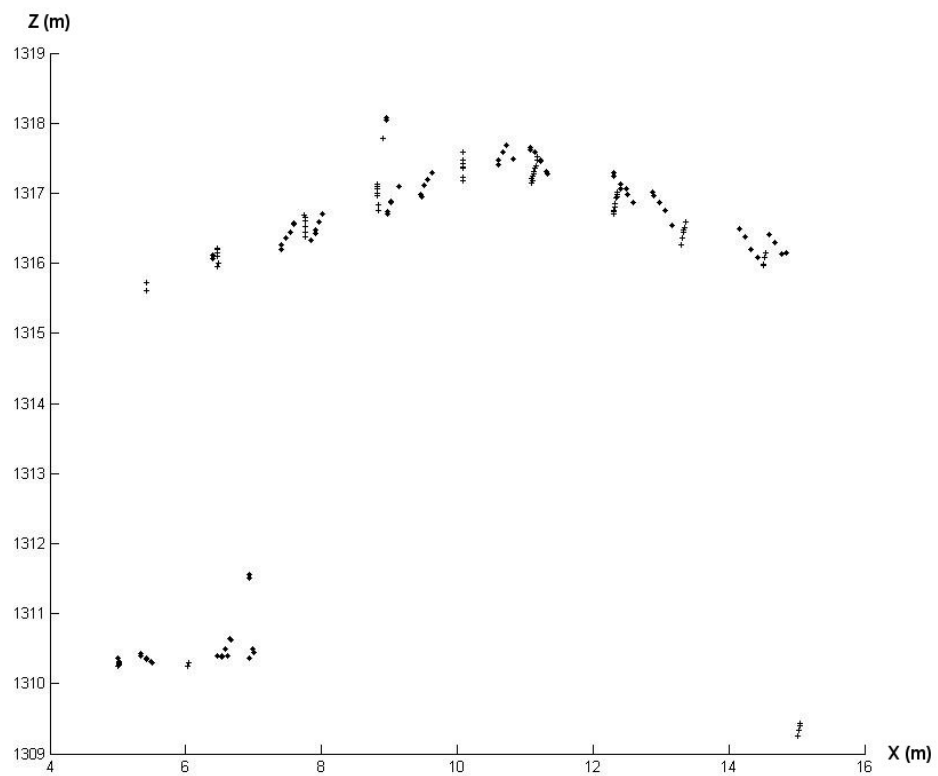
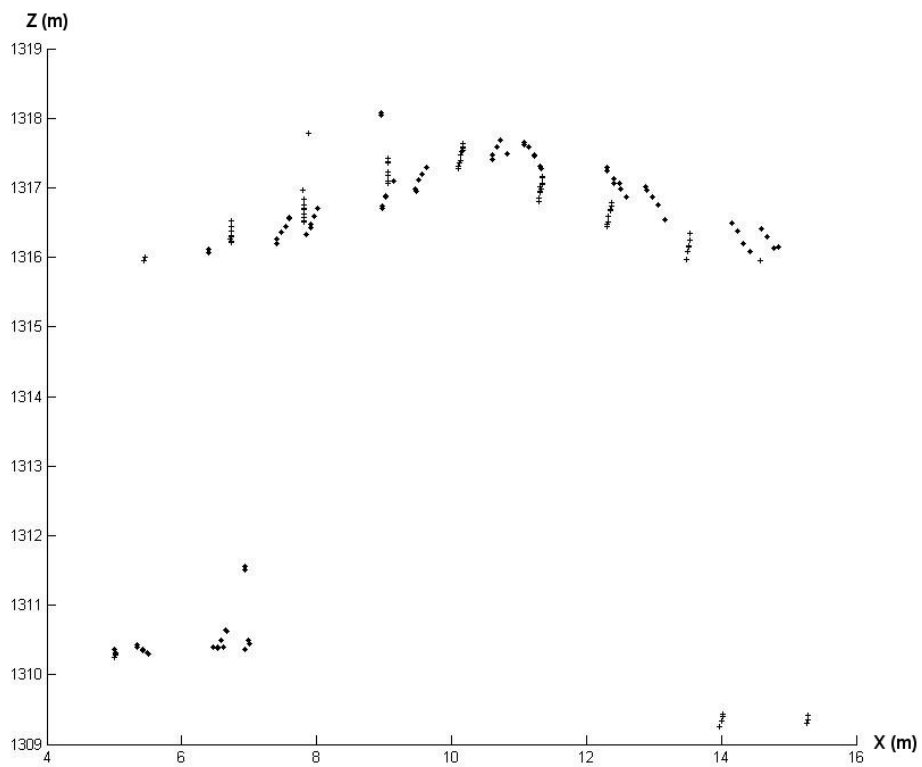


Figura2. Ajuste de los datos antes de aplicar la transformación la transformación afín bidimensional (arriba) y después de corregirlos (abajo)

Determinación de la altura de la vegetación

El ajuste planimétrico obtenido una vez corregidos los desplazamientos en los datos originales, permitió una adecuada definición de la superficie terrestre, tanto del terreno como de los elementos situados sobre él, fundamental de cara a estimar cualquier variable a partir de los datos LiDAR. Al tener ambas líneas de vuelo intercalibradas se puede disponer además de una densidad de puntos Lidar doble para la zona de solape, útiles para la mejor caracterización de la vegetación. La obtención de la altura a partir de los datos LiDAR resulta de gran importancia para estimar otras variables como por ejemplo biomasa (Dubayah et al., 2000) o bien para determinar variables críticas relacionadas con el comportamiento de los incendios forestales como altura del dosel, del sotobosque, densidad de copa, etcétera (Riaño et al. 2003).

La figura 3 muestra una pequeña parte del área de estudio donde se puede un recorte de la imagen de alturas generada como la diferencia entre el MDS y el MDT, un perfil transversal que muestra la distribución de pulsos para un transecto de dicha área, y el porcentaje de superficie ocupada por vegetación de superficie ($h < 0.5$ m), matorral ($0.6 \leq h \leq 2$ m), arbolado de hasta 10 m y arbolado de altura de más de 10 m.

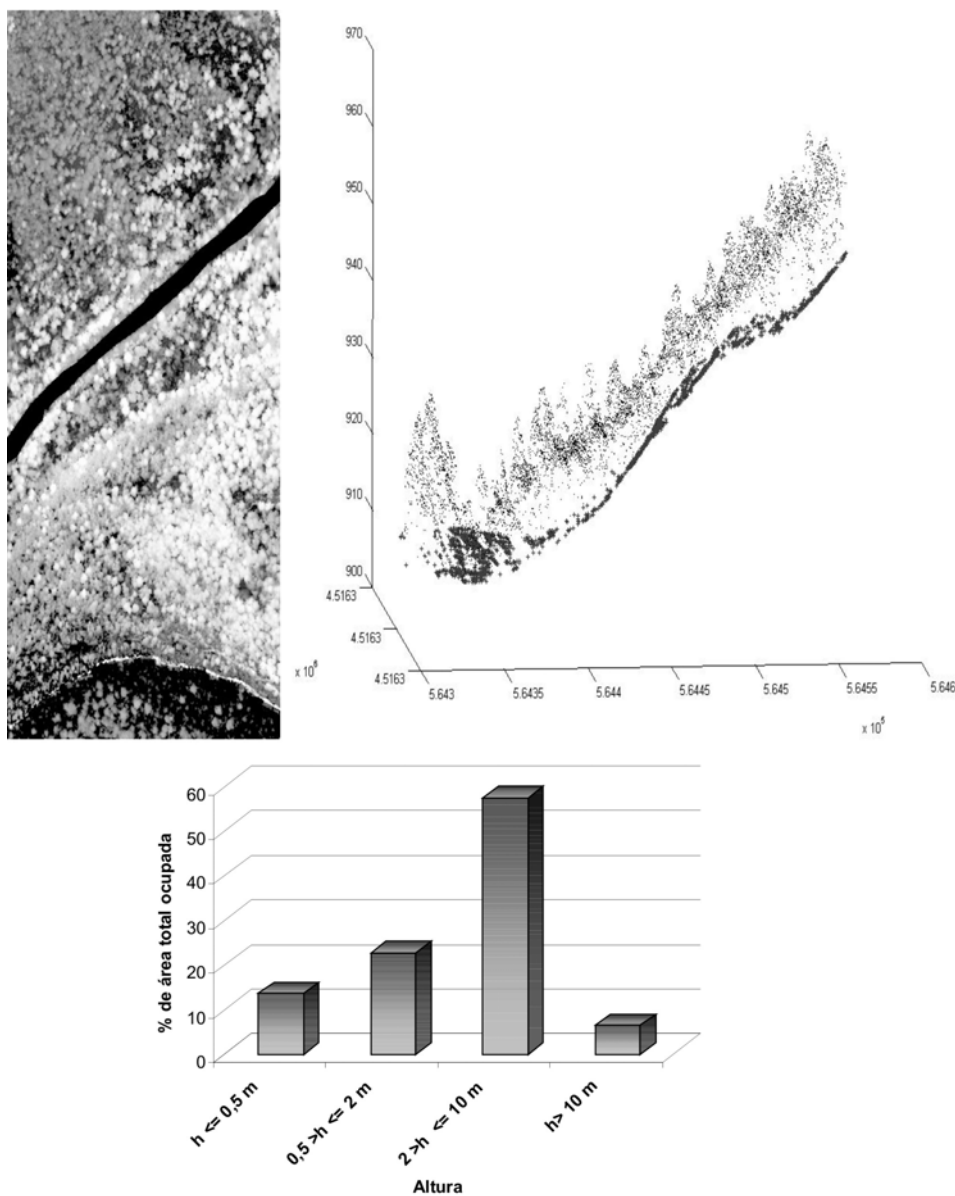


Figura 3. Imagen de alturas y sección transversal de una zona del área de estudio (arriba) y distribución de frecuencias de cada intervalo de altura considerado (abajo)

CONCLUSIONES

A lo largo de este artículo se ha demostrado que la aplicación de técnicas de correspondencia entre imágenes basadas en áreas sobre imágenes de intensidad generadas a partir de una nube de puntos LiDAR, resulta de utilidad para determinar las discrepancias planimétricas observadas entre dos vuelos LiDAR realizados sobre un área forestal, especialmente cuando la aplicación de métodos basados en entidades resulta compleja. También se ha mostrado como la aplicación de filtros que reducen el ruido característico de dichas imágenes mejora los resultados de estas técnicas, facilitando la extracción de puntos de control.

La rutina aplicada, la cual genera imágenes de desplazamiento, permite detectar patrones de desplazamiento, tanto globales, para toda la imagen, como locales, es decir distintos desplazamientos en distintas zonas de la imagen. Así mismo, la extracción de puntos de control distribuidos homogéneamente sobre la imagen permitiría aplicar métodos de transformación local como *piecewise linear models* o *local weighted mean*, los cuales requieren un gran número de puntos distribuidos por toda la imagen ya que los parámetros de transformación varían de una región a otra.

El método propuesto para corregir las discrepancias planimétricas también puede aplicarse para la fusión de datos LiDAR con sensores ópticos. En el caso de la necesidad de integrar datos de varios sensores, por ejemplo datos LiDAR con imágenes hiperespectrales, es crítico que ambos conjuntos de datos ajusten de manera que cada píxel represente de la manera más próxima posible, la misma posición.

Los datos LiDAR permiten obtener de una manera directa y sencilla la altura de la vegetación en zonas forestales. Esta variable resulta crítica para derivar otras variables forestales o para mejorar la información relacionada con el peligro de incendios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren mostrar su agradecimiento al UK Natural Environment Research Council, quienes proporcionaron los datos como parte de la campaña Airborne Remote Sensing Facility 2006 Mediterranean Campaign (WM06-04).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Crombaghs, M.J.E., Brügelmann, R. y de Min, E.J. (2000): On the adjustment of overlapping strips of laseraltimeter height data. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 33, part B3/1, pp. 224-231.
- Dubayah, R.O., Knox, R.G., Hofton, M.A., Blair, J.B. y Drake, J.B. (2000): Land surface characterization using lidar remote sensing. En: Hill, M. y Aspinall, R. (Eds), *Spatial Information for Land Use Management*. Singapore. International Publishers Direct.
- Huising, E.J. y Gomes Pereira, L.M. (1998): Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning systems for topographic applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53 (5): 241-261.
- Lee, J., Yu, K., Kim, Y. y Habib, A.F. (2007): Adjustment of discrepancies between LiDAR data strips using linear features. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 4 (3): 475-479.
- Lerma, J.L. (2002): *Fotogrametría moderna: analítica y digital*. Editorial U.P.V., pp. 427-477.

- Liu, D., Gong, P., Kelly, M. y Guo Q. (2006): Automatic registration of airborne images with complex local distortion. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72 (9): 1049-1059.
- Maas, H.-G. y Vosselman, (1999): Two algorithms for extracting buildings models from raw laser altimetry data. *ISPRS journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54: 153-163.
- Maas, H.-G. (2000): Least-squares matching with airborne laserscanning data in a TIN structure. En: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 33, part B3/1, pp. 548-555.
- Maas, H.-G. (2001): On the use of reflectance data for laserscanner strip adjustment. En: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 34, part 3/w4, pp. 53-56.
- Maas, H.-G. (2002): Methods for measuring height and planimetry discrepancies in airborne laserscanner data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68 (9): 933-940.
- Næsset, E., Gobakken, T., Holmgren, J., Hyypä, H., Hyypä, J., Maltamo, M., Nilsson, M., Olsson, H., Persson, A. y Söderman, U. (2004): Laser scanning of forest resources: The Nordic experience. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19: 482-499.
- Pfeifer, N., Oude Elberink, S. y Filin, S., (2005): Automatic tie elements detection for laser scanner strip adjustment. En: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Proceedings of Laserscanning*, vol. 36, part 3/w3, pp. 174-179.
- Prado, E. (2007): Mejoras en la evaluación y corrección de errores de corrección en imágenes hiperespectrales AHS para estudios multitemporales. (Tesis de Máster). Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá.
- Riaño, D., Meier, R., Allgower, B., Chuvieco, E. y Ustin, S.L. (2003): Modeling airborne laser scanning data for the spatial generation of critical forest parameters in fire behavior modeling. *Remote Sensing of Environment*, 86 (2): 177-186.
- Vosselman, G. (2002a): Strip offset estimation using linear features. En: *3rd international workshop on mapping geo-surficial processes using laser altimetry*, pp. 1-9.
- Vosselman, G. (2002b): On the estimation of planimetric offsets in laser altimetry data. En: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing*, vol. 34, part 3A, pp. 375-380.

González-Calvo, A.; Hernández-Leal, P. A.; Alonso-Benito, A.; Arbelo, M. y Arvelo-Valencia, L. (2008): Modelado del riesgo de incendios forestales en las Islas Canarias usando datos de satélite y aplicaciones SIG. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 588-596. ISBN: 978-84-96971-53-0.

MODELADO DEL RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES EN LAS ISLAS CANARIAS USANDO DATOS DE SATELITE Y APLICACIONES SIG

González-Calvo, A.; Hernández-Leal, P. A.; Alonso-Benito, A.; Arbelo, M. y Arvelo-Valencia, L.

Grupo de Observación de la Tierra y la Atmosfera (GOTA). Avda. Astrofísico Francisco Sánchez s/n. Facultad de Físicas. Universidad de la Laguna. S/C de Tenerife. Islas Canarias. 38202 (España). e-mail: agcalvo@ull.es

RESUMEN

La evolución durante las últimas décadas de la teledetección y los SIG ha permitido mejorar enormemente las aplicaciones dedicadas al estudio de los incendios forestales en sus diferentes facetas. La sinergia de datos de satélite, parámetros meteorológicos y capas temáticas integradas en un SIG, ha mejorado tanto el desarrollo de mapas de riesgo de incendio forestal, como los sistemas de alerta temprana, el cartografiado de áreas quemadas y el estudio de la regeneración del bosque afectado. El presente trabajo se ha centrado en el modelado del riesgo de incendio para un entorno insular, concretamente para la isla de Tenerife, especialmente afectada durante la campaña del verano de 2007. Se propone un modelo de riesgo regionalizado que integra variables estáticas tales como el mapa de cobertura vegetal, estadísticas de incendios, pendiente, insolación, mapa de carreteras, además de variables dinámicas sensibles al estrés hídrico de la vegetación, obtenidas a partir de los sensores NOAA-AVHRR y TERRA-MODIS. Los índices de riesgo obtenidos son evaluados para diferentes zonas representativas de distintas coberturas vegetales de la isla, analizando su evolución desde principios de 2007 hasta las fechas previas al gran incendio del mes de Agosto. Se analiza su potencial como herramienta complementaria en la lucha contra incendios.

Palabras Clave: Riesgo incendios, AVHRR, MODIS, GIS, Islas Canarias

ABSTRACT

During the last decades advances on remote sensing and GIS has greatly improved applications dedicated to the study of forest fires in its different stages. The synergy of satellite data, meteorological parameters and thematic layers integrated into a GIS, has improved both the development of maps of risk of forest fires, as well as early warning systems, mapping of burned areas and studies involving the regeneration of degraded forests. This work has focused on modeling the risk of fire for an insular environment, specifically for the island of Tenerife, especially affected during the campaign of summer 2007. It proposes a regionalized risk model that integrates static variables such as the map of vegetation cover, fire statistics, insolation, slope, roadmaps, as well as dynamic variables sensitive to vegetation water stress, obtained from NOAA-AVHRR and Terra-MODIS satellite sensors. Risk Indexes obtained are evaluated for different areas representing the main vegetation covers on the island, exploring its evolution from early 2007 until the dates prior to the great fire of August. We analyze its potential as a complementary tool in fighting fires.

Key Words: Fire risk, AVHRR, MODIS, GIS, Canary Islands

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas siguen siendo una de las principales causas de los incendios forestales, haciendo que sea realmente compleja la generación de un mapa de riesgo que alerte de una manera efectiva acerca de cuáles son las zonas que finalmente pueden verse afectadas. No obstante, el uso de la teledetección puede ayudar de forma decidida en la generación de índices de riesgo que reflejen el estado de estrés hídrico de la vegetación y la temperatura de la superficie, dos variables claves en este tipo de estudios, con una resolución tanto espacial como temporal que difícilmente podríamos tener con medidas in situ realizadas en estaciones meteorológicas.

Durante las últimas décadas, gran parte de las aplicaciones de la teledetección en incendios forestales, han estado centradas en la detección temprana de los mismos usando datos de los sensores que captan información en el infrarrojo medio. En este sentido cabe destacar, entre otros la gran utilidad de satélites como los Meteosat Second Generation (MSG) que con una imagen cada 15 minutos, a través de su instrumento principal el Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI), y una resolución mejorada respecto de sus predecesores, ya ha demostrado en numerosas ocasiones su validez para la detección rápida de un incendio, con la posibilidad de dar una alerta inmediata a los servicios forestales (Calle et al., 2006). Especialmente reseñable es también el considerable esfuerzo que se ha realizado en el desarrollo de algoritmos para la estimación de las zonas quemadas (Pereira, 1999) o incluso la evaluación de diferentes niveles de afectación dentro de las zonas quemadas, utilizando índices espectrales como el denominado Normalized Burnt Ratio (NBR) (Roy et al., 2006).

Desafortunadamente, en lo que se refiere a las condiciones previas que determinan la aparición de un incendio forestal, existen menos referencias en la literatura. Una combinación de factores medioambientales, condiciones meteorológicas y causas antropogénicas parecen ser la causa de la mayor parte de los grandes incendios forestales. Las elevadas temperaturas en verano, junto con altas velocidades de viento, terrenos abruptos y la presencia de material con un bajo grado de humedad, altamente inflamable, en el suelo de los bosques son algunos de los factores que determinan una rápida generación y expansión de un incendio. No obstante, los sensores de los satélites pueden aportar una información realmente útil de las zonas con un alto nivel de riesgo, dada su amplia cobertura espacial y temporal. En este sentido el contenido en agua de las plantas es una de las factores clave en los modelos desarrollados, con aplicación no sólo el terreno agrícola sino también en incendios forestales, siendo parametrizado a través del índice Fuel Moisture Content (FMC), definido como el porcentaje del peso de agua sobre el peso de la muestra seca para una determinada cobertura vegetal (Chuvieco et al., 2004). Se ha demostrado además, mediante el uso de largas series temporales de datos NOAA-AVHRR y más recientemente de TERRA-MODIS, que existe una buena correlación entre el FMC y un índice de vegetación como el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) obtenido a partir de bandas en el visible e infrarrojo próximo (Chladil et al., 1995). Además, la posibilidad de obtener la temperatura de la superficie a través de algoritmos de tipo Split-Window aplicados a los canales térmicos, y la correlación negativa entre temperatura de la superficie y NDVI, ha conducido a utilizar este último como un indicador del contenido en agua de la superficie (Jang et al., 2006).

En la generación de mapas de riesgo de incendio, se han utilizado por tanto los índices de vegetación y la temperatura de la superficie, obtenidos a partir de satélite, en conjunción con datos meteorológicos de estaciones en tierra (temperatura del aire, velocidad del viento, humedad...) y otros factores de riesgo estáticos como la proximidad a las carreteras o las horas de insolación, entre otros, de forma que dichos mapas representen de la mejor manera posible todos los factores involucrados (Chuvieco et al., 2003, Leblon, 2001)

Las islas Canarias no escapan a esta problemática, habiendo sido afectadas por grandes incendios en todas las islas con cobertura forestal durante los últimos 4 años (la Palma: 2005, El Hierro: 2006, Gran Canaria y Tenerife: 2007 y La Gomera: 2008). Las superficies afectadas en esos incendios van desde las 800 ha. del último incendio de la Gomera, hasta las 14.718 ha. quemadas en el de Tenerife o las 15.362 ha. del de Gran Canaria. Si bien en casi todos los casos se ha demostrado la incidencia de factores antropogénicos en el inicio de los mismos, es evidente que cualquier herramienta que se ponga en manos de los servicios forestales en la ayuda para la prevención siempre es bien acogida.

En este sentido, el estudio que a continuación se presenta se centra en la Isla de Tenerife (Islas Canarias-España), si bien sus resultados pretenden ser extrapolados a otras islas siguiendo la misma metodología. Se ha desarrollado un índice dinámico denominado Fire Risk Dynamic Index (FRDI) en el que se tiene en cuenta además de diferentes factores estáticos de riesgo, la evolución temporal del estrés hídrico de la vegetación, a través del NDVI tanto para datos AVHRR como MODIS y el Enhanced Vegetation Index (EVI) definido para datos de este último sensor. Se realiza un análisis de los diferentes índices dinámicos en las fechas previas al gran incendio de Agosto de 2007.

DATOS Y METODOLOGÍA

El mapa de riesgo estático es una cartografía digital de riesgo de incendio en una determinada región combinando varias capas temáticas constantes en el tiempo. Empleando el álgebra de mapas se construye un modelo de probabilidad de que se origine un incendio en un punto cualquiera de la isla de Tenerife mediante regresión logística multivariante. Las variables que se han considerado como determinantes en la aparición de un incendio: altura, pendiente e inclinación del terreno, proximidad a carreteras y cobertura vegetal.

A partir de la interpolación del mapa de curvas de nivel se obtiene el de altura. Aplicando módulos específicos del software, en los que se incluye el operador gradiente, conseguimos los mapas de pendiente e inclinación (o insolación). Se considera que a mayor riesgo de incendio, mayor será el valor que adopte la variable considerada. Así, por razones de humedad y temperatura, en la época estival existe mayor riesgo en las zonas altas que en las bajas. Por otro lado, los terrenos con mayor pendiente no es que tengan un mayor riesgo de incendio, pero sí que, en caso de producirse, propagarían con mayor rapidez las llamas, constituyendo por tanto un factor añadido de riesgo. En cuanto a la orientación, las zonas orientadas al sur sufren un estrés hídrico superior al resto, por lo que es de esperar que posean una mayor probabilidad de riesgo de incendio. Al tener cada una de las variables aquí tratadas distinto rango de valores, incluso órdenes de magnitud, se han pesado tal y como se especifica en la tabla 1.

El mapa de elementos lineales en el que se encuentra el trazado de las carreteras asfaltadas de la isla es tratado para determinar el mapa de proximidad a las mismas, esto es, para cada punto de la zona estudiada, se calcula cuál es la carretera más próxima a él. A mayor proximidad a la carretera, mayor será el riesgo de incendio provocado por la acción humana, ya sea de forma voluntaria o fortuita. El peso dado a los valores presentes en este mapa se muestra en la tabla 1.d. Por su parte, en el mapa de cobertura vegetal, sólo se han considerado tres especies vegetales como primera aproximación: laurisilva, retama y pinar. Considerando el diferente grado de estrés hídrico al que se puede ver sometidas cada una de ellas, altura media y densidad de las mismas, se han asignado los pesos indicados en la tabla 1.e.

Una vez tratadas las variables temáticas, se construye el modelo matemático de probabilidad de incendio. Para ello, es necesario un mapa que contenga la historia reciente de focos de incendio originados en la zona de estudio. Mediante un modelo de regresión logística múltiple se establece la probabilidad de que la variable dependiente adopte el valor 1, siguiendo la expresión:

$$P(Y = 1) = \frac{e^{\sum(\alpha + \beta_i X_i)}}{1 + e^{\sum(\alpha + \beta_i X_i)}} \quad (1)$$

siendo Y la variable dependiente, X_i las variables independientes y α , β_i números reales.

Una regresión logística nos permite obtener como resultado una variable discreta para un conjunto de variables de partida que pueden ser continuas, discretas, discontinuas o una mezcla de ellas. La aplicación de esta técnica en modelos de prevención de incendio puede ser consultada en Cruz et al. (2003).

Conociendo los valores que adopta la variable dependiente (focos de incendio producidos en un periodo de 12 años), se puede determinar cómo influye cada una de las variables independientes a través de los coeficientes α y β_i . Una vez calculados, se sustituyen en la expresión (1) y se obtiene el mapa de probabilidades de riesgo de incendio debido a las variables independientes del tiempo. Todas las capas de riesgo del modelo de riesgo estático, las clases dentro de cada variable y el producto final o FRSI se muestran en la Fig. 1

Con el objetivo de introducir un factor dinámico de riesgo obtenido a partir de datos de satélite, se han usado tres tipos de indicadores de estrés hídrico. Por un lado se utilizaron datos de composiciones multitemporales de 7 días de NDVI del sensor NOAA-AVHRR, basados en la técnica de retención del máximo valor de NDVI para la semana considerada (Holben, 1986). Por otro, se utilizaron datos de composiciones temporales de 16 días de NDVI del sensor Terra-MODIS y por último, datos de composiciones de 16 días del EVI, índice de vegetación asociado a los datos MODIS. En los tres casos, se modifica la función de probabilidad estática con la adición del factor dinámico asociado a estos índices, realizando un estudio de la evolución de la función probabilística dinámica, desde principios de 2007 hasta finales de Agosto del mismo año.

Tabla 1. Pesos asignados para la generación del mapa estático de riesgo de incendio: a) Fichero de pendientes del terreno, b) Fichero de altitud, c) Fichero de insolación, d) Fichero carreteras, e) Fichero tipo vegetación.

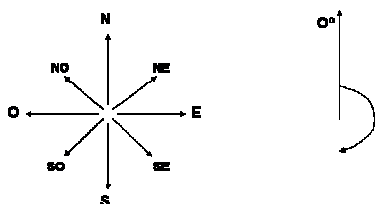
<i>1.A) FICHERO PENDIENTE (%)</i>		
<i>Valor asignado</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
1	0	5
2	5	10
3	10	15
4	15	20
5	20	25
6	25	30
7	30	35
8	35	100

<i>1.B) FICHERO ALTITUD (M)</i>		
<i>Valor asignado</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
1	0	500
2	500	1000
3	1000	1500
4	1500	4000

<i>1.C) FICHERO INSOLACIÓN</i>			
<i>Valor asignado</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	
1	0	23	N
2	23	68	NE
3	68	113	E
4	113	158	SE
8	158	203	S
4	203	248	SO
3	248	293	O
2	293	338	NO
1	338	360	N

<i>1.D) FICHERO CARRETERAS (M)</i>		
<i>Valor asignado</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
20	0	10
15	10	50
10	50	100
6	100	500
4	500	2000
2	2000	5000
1	5000	40000

<i>1.E) FICHERO TIPO DE VEGETACIÓN</i>	
<i>Valor asignado</i>	<i>Especie</i>
1	Laurisilva
2	Retama
8	Pinar



RESULTADOS

El mapa de riesgo estático FRSI (Fire Risk Static Index) mostrado en la Fig. 1, ha sido generado atendiendo a los factores previamente comentados, incluyendo en la generación de la función de probabilidad, las estadísticas de incendios acaecidos en la Isla de Tenerife durante el periodo 1992-2002. En estas estadísticas se reflejan el punto geográfico y fecha de inicio así como la superficie total afectada por el incendio.

En este mapa de riesgo estático puede observarse como quedan perfectamente delimitadas la mayor parte de las carreteras, denotando con ello que uno de los factores de riesgo con mayor peso dentro de la función probabilística es la proximidad a las principales vías de la isla. Es por tanto el factor humano, tenido en cuenta de forma indirecta en esta variable, uno de los determinantes en el inicio de la mayor parte de este tipo de sucesos.

Una vez desarrollado el modelo estático de riesgo, con el objetivo de analizar la evolución del riesgo teniendo en cuenta también un factor dinámico de vital importancia como es el estrés hídrico de la vegetación, se procedió a añadir a la función de riesgo estático o FRSI un factor modulador, que hemos dado en llamar WSI (Water Stress Indicator), en el que sucesivamente se introdujeron datos de NDVI-AVHRR, NDVI-MODIS y EVI-MODIS, generando por tanto 3 índices dinámicos de riesgo. La función probabilística dinámica en su forma general quedaría como sigue:

$$FRDI = 1 - WSI \left[\frac{e^{\sum(\alpha + \beta_i X_i)}}{1 + e^{\sum(\alpha + \beta_i X_i)}} \right] \quad (2)$$

cuyos valores oscilarían para la superficie terrestre entre 0 y 1, denotando un mayor riesgo de incendio cuanto más alto sea el valor asociado al mismo.

El estudio dinámico se ha restringido a cinco zonas de la Isla de Tenerife, representativas de los más importante tipos de cobertura vegetal de la misma. (REG-1: Realejos-San Juan de la Rambla; REG-2: Vilaflor, REG-3: Fasnia; REG-4: El Rosario; REG-5: Anaga). En la figura 2 se muestra un ejemplo de los datos de NDVI-AVHRR, NDVI-MODIS y el EVI-MODIS para dichas regiones, así como las correspondientes imágenes de riesgo dinámico asociadas a cada uno de esos indicadores WSI.

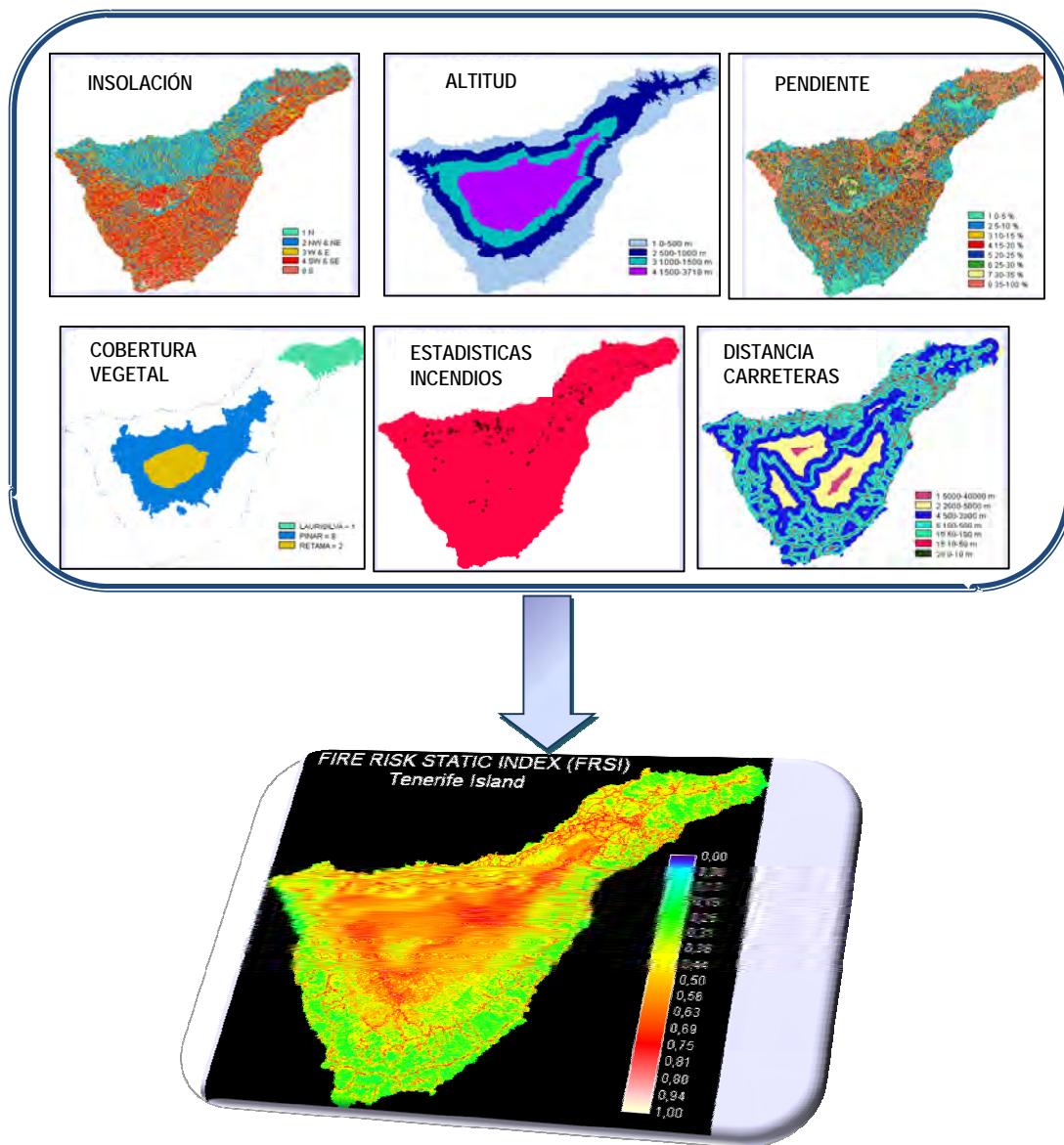


Figura 1. Esquema de las capas temáticas utilizadas en la generación del mapa de riesgo estático (FRSI) para la isla de Tenerife y visualización del mismo por aplicación de una regresión logística multivariante.

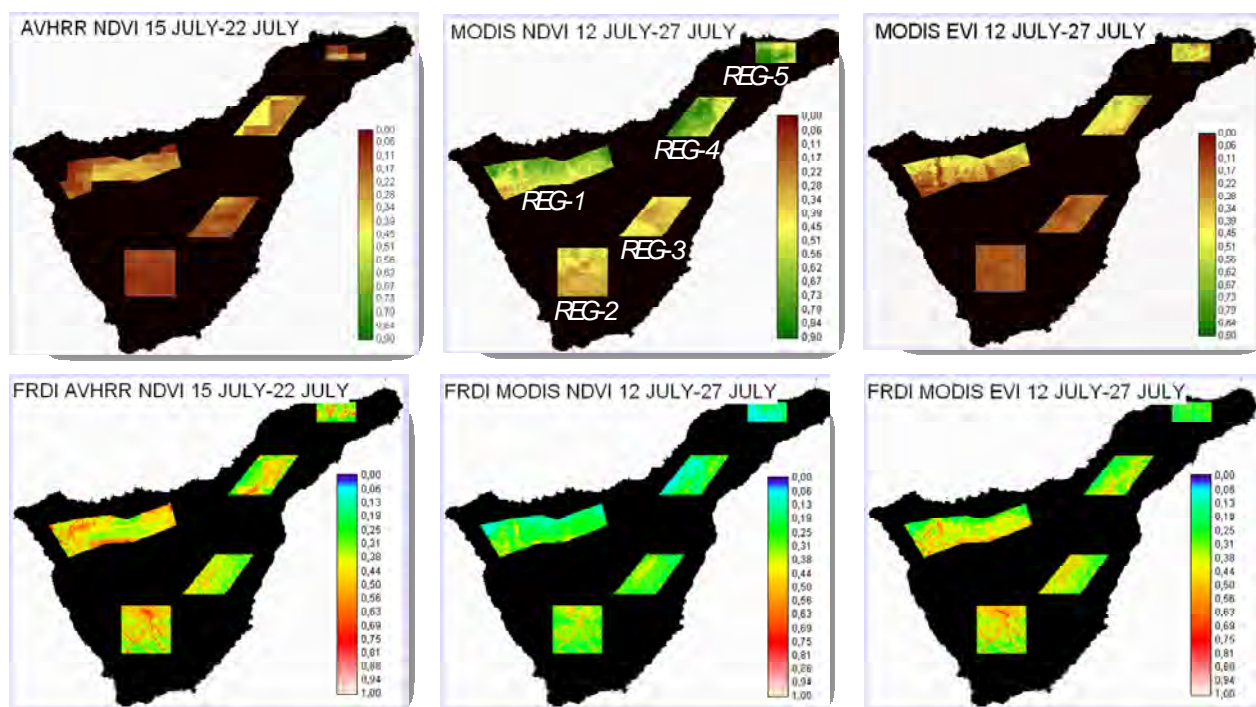


Figura 2. Representación de los valores de los índices de vegetación NDVI-AVHRR, NDVI-MODIS y EVI-MODIS así como de los índices de riesgo dinámicos (FRDI) asociados a los mismos para la segunda quincena de Julio de 2007 y para cada una de las cinco zonas definidas sobre la isla de Tenerife

En el caso de las composiciones multitemporales con datos AVHRR, al tratarse de composiciones que abarcan un menor número de días, en algunos casos los test de nubes aplicados, nos han obligado a desechar algunas de las imágenes obtenidas, mientras que para las composiciones EVI-MODIS y NDVI-MODIS todas ellas fueron consideradas como válidas para el análisis.

Los valores promedio de cada uno de los tres índices de riesgo dinámico definidos, en las 5 regiones de la isla de Tenerife, se muestran en la figura 3, incluyendo todas las composiciones válidas desde Enero de 2007 hasta finales de Agosto de 2007 (15 compuestos para los datos de EVI y NDVI del sensor MODIS y 28 composiciones para los datos NDVI del AVHRR).

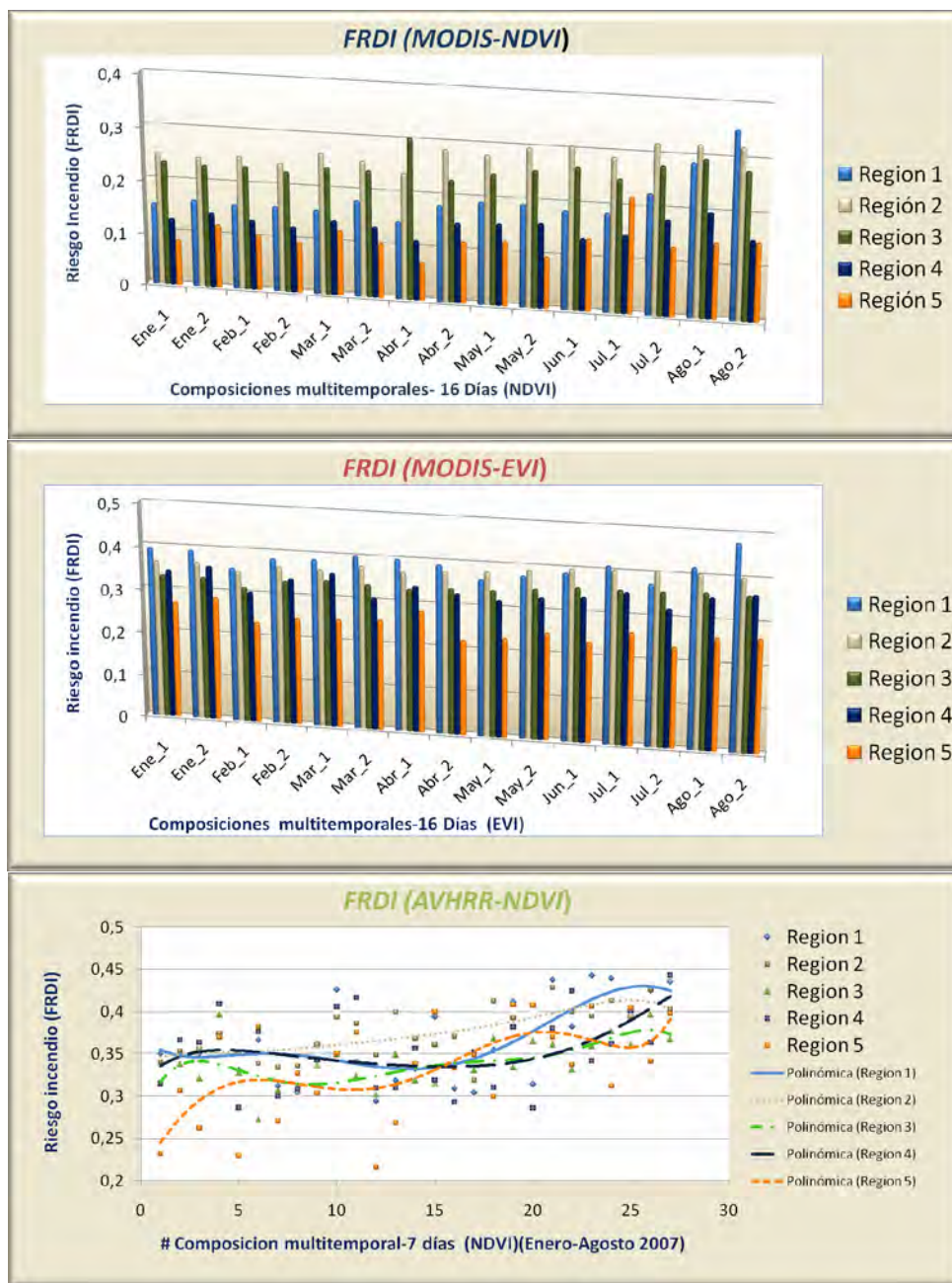


Figura 3. Gráficos con la evolución de los promedios de riesgo dinámico o FRDI para los tres índices usados en cada una de las cinco regiones analizadas (Enero-Agosto 2007). Los datos FRDI MODIS-NDVI y FRDI MODIS-EVI se representan en dos composiciones mensuales correspondientes a la primera o a la segunda quincena del mes. Los datos FRDI AVHRR-MODIS se representan cada 7 días.

En el caso de las imágenes AVHRR el índice dinámico obtenido muestra una evolución clara en los niveles de riesgo asociado a todas las regiones, sobre todo cuando nos acercamos a la época estival en que las curvas de tendencia marcan un claro aumento de dichos niveles. En el caso de la curva de ajuste polinomial correspondiente a la región 1 (zona de Los Realejos-San Juan de la Rambla, afectada por el incendio), este aumento es apreciable en las fechas previas al comienzo del incendio. Bien es verdad que los valores asociados a las restantes regiones también registran ascensos en el nivel de riesgo, pero no tan acusados como el de esta última.

Por su parte los diagramas de barras en los que se representan los valores promedio de los índices de riesgo de cada región a partir de datos MODIS (EVI o NDVI), experimentan claros incrementos en la región 1, sobre

todo en el caso del FRDI obtenido a partir del NDVI en el que el índice de riesgo pasa de valores cercanos a 0,15 en los primeros meses de la serie temporal (Enero-Marzo) a valores de 0,35 en las fechas previas al incendio, mientras que el FRDI-EVI si bien también refleja una tendencia similar, con valores de riesgo en un intervalo distinto por las características propias del EVI, experimenta un gradiente de cambio mucho menor, reflejo de su peor adaptación al seguimiento de la evolución del estado de estrés hídrico de la vegetación, al menos para el tipo de cubierta forestal existente en la Isla.

CONCLUSIONES

Se ha obtenido un mapa de riesgo de incendio estático (FRSI) para la isla de Tenerife, definiendo una función probabilística de riesgo basada en una regresión logística multivariante realizada sobre variables determinantes en la aparición de un foco, pesadas por las estadísticas de incendio georeferenciadas. La modulación de los valores estáticos de riesgo mediante datos de índices de vegetación de los sensores AVHRR y MODIS, permite definir tres índices de riesgo dinámicos (FRDI), con evoluciones en el tiempo ligeramente diferenciadas. Al análisis de la tendencia de dichos índices en cinco regiones de la isla de Tenerife, permite concluir que si bien todos ellos pueden actuar como indicadores de riesgo válidos, es el FRDI obtenido a partir de los datos MODIS-NDVI el que aparentemente refleja de una manera más clara las variaciones en los niveles de riesgo.

Este tipo de datos de riesgo dinámico, si bien se ha obtenido promediando los valores sobre polígonos definidos en la isla, pueden darse con resoluciones más elevadas cuyo único límite es la resolución espacial del sensor de satélite utilizado.

Es nuestra intención continuar en la misma línea de estudios, adicionando a las capas de riesgo nuevos variables como podría ser las redes de alta tensión, mapa de vientos predominantes, así como modelos de predicción meteorológica que permitan una mejor representación de la realidad del riesgo asociado a cada pixel de la imagen.

En la mente de todos está que el factor que en la mayor parte de las ocasiones determina la aparición de un incendio es el factor humano, algo que en muchos casos escapa al nivel de predicción de una función probabilística. Pero la conjunción de estos modelos con modelos de propagación de incendios, puede ayudar de manera determinante tanto a la prevención como a la rápida extinción de los incendios ya iniciados.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por la DGUI del Gobierno Autónomo Canario (Proyecto de investigación PI042005/108) y por el Ministerio de Ciencia e Innovación (Proyecto de Investigación CGL2004-06099-C03-02/CLI). Agradecer al área de Medioambiente y Paisajes del Cabildo Insular de Tenerife la cesión de los datos de estadísticas de incendios.

BIBLIOGRAFÍA

- Calle A., Casanova J.L. y Romo A. (2006): Fire detection and monitoring using MSG Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI) data. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 111, G04S06, doi:10.1029/2005JG000116.
- Chladil M.A. y Nuñez M. (1995): Assessing grassland moisture and biomass in Tasmania. The application of remote sensing and empirical models for a cloudy environment, *International Journal of Wildland Fire*, 5: 165-171.
- Chuvieco E., Aguado I., Cocero D. et al. (2003): Design of and empirical index to estimate fuel moisture content from NOAA-AVHRR images in forest fire danger studies, *International Journal of Remote Sensing*, 24: 1621-1637

- Chuvieco, E. Cocero D. Riaño, D. et al. (2004): Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating, 92: 322-331.
- Cruz, M. G., Alexander, M. E. y Wakimoto, R. H. (2003): Assessing the probability of crown fire initiation based on fire danger indices. *Forestry Chronicle*, 79: 976-983.
- Holben B. N. (1986): Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 11: 1511-1519.
- Jang J. D. (2006): Thermal-Water stress index from satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, (27) 8: 1619-1639.
- Leblon B. (2001): Forest wildfire hazard monitoring using remote sensing, a review. *Remote Sensing Reviews*, 20(1): 1-57.
- Pereira M. C. (1999): A comparative evaluation of NOAA/AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remotes Sensing*, 37: 217-226.
- Roy D. P., Boschetti L. y Trigg S.N.(2006): Remote Sensing of Fire Severity: Assessing the performance of the Normalized Burn Ratio. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3 (1): 112- 116.

González Rojas, J. C. y Palazón Ferrando, J. A. (2008): Uso de imágenes SPOT-5 para la generación de un mapa de vegetación y usos de Sierra Espuña (Murcia, SE España). En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 597-602. ISBN: 978-84-96971-53-0.

USO DE IMÁGENES SPOT-5 PARA LA GENERACIÓN DE UN MAPA DE VEGETACIÓN Y USOS DE SIERRA ESPUÑA (MURCIA, SE ESPAÑA)

González Rojas, J. C.¹ y Palazón Ferrando, J. A.²

(1) Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua, Complejo de Espinardo. Carretera Nacional 301, Edificio 27, 30100 Murcia. jcgonza@f-iea.es

(2) Instituto Universitario del Agua y del Medio Ambiente. Universidad de Murcia, Campus de Espinardo. 30100 Murcia. palazon@um.es

RESUMEN

Dado que la vegetación constituye uno de los principales elementos de los ecosistemas terrestres, resulta de gran importancia disponer de mapas actualizados de vegetación y usos del suelo.

En este trabajo se describe un método testado en Sierra Espuña, que proporciona resultados de un modo rápido, económico y preciso. Estos se consiguieron de una sola imagen SPOT-5, con sus cuatro bandas y de una pancromática del Quickbird. El software utilizado fue exclusivamente GRASS.

La imagen satelital SPOT-5, fue sometida a un proceso sistemático de sucesivas clasificaciones multiespectrales no supervisadas buscando en cada una de ellas dos clases mutuamente excluyentes y realizando el enmascaramiento de la opuesta, hasta llegar a una adecuada correspondencia visual de cada una de estas categorías, con el correspondiente uso del suelo apreciado en la imagen pancromática de alta resolución del satélite Quickbird.

Los resultados del proceso de clasificación fueron cruzados con la información obtenida de un muestreo, realizado sobre la imagen de alta resolución, mediante una matriz de confusión y validándola luego por medio del estadístico Kappa. De los análisis realizados, se desprende la viabilidad del método para la generación de un mapa de vegetación y usos del suelo de un modo rápido, económico y con un alto grado de correspondencia con la realidad.

Palabras Clave: SPOT- 5, Usos del suelo, Quickbird, GRASS, Sierra Espuña.

ABSTRACT

Assuming that vegetation constitutes one of the principal elements of the terrestrial systems it is very important to have one's disposal at the present time vegetation and landuse maps.

The present study describes a method tested at Sierra Espuña, it supplies results in a rapid, economic and exact way. Those were obtain from an image SPOT-5 only, with it four channels and from a panchromatic of the Quickbird. The software utilized was exclusively GRASS.

The satellital image SPOT-5 was submitted to a systematic process of successive multispectral unsupervised classifications looking into each one of them two mutually excludable kinds and puting on a mask of the opposite one, till to reach to an adequate visual relation of each this categories, with the respective landuse appraised on the panchromatic image of high resolution from the Quickbird satellite.

The results of classification process were crossed with the information obtained from a pattern, realized on the image of high resolution, with the help of a matrix of confusion and validating immediately by means statistical Kappa. From the analysis realized, reveal the feasibility of the method for generation of a vegetation and landuse map in a rapid, economic way with a high degree of agreement with the reality.

Key Words: SPOT-5, Landuse, Quickbird, GRASS, Sierra Espuña.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de observación remota y los sistemas de información geográfica (SIG), se han constituido hoy en día en herramientas imprescindibles para la obtención, procesamiento, estudio y visualización de la información del territorio, por ello se convierten en insustituibles para una buena planificación y gestión ambiental.

En pocos años los sistemas de información geográfica han evolucionado de un campo muy especializado a una tecnología que afecta muy de cerca cada aspecto de nuestras vidas, lo que ha llevado a que estén en su apogeo (Neteler y Mitasova, 2004; Schuurman, 2004). Dentro de este contexto, la comunidad de código abierto presenta el más fiable proyecto de SIG de software libre, denominado GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), que es un sistema de información geográfica raster-vectorial integrado con subsistemas para el procesado de imágenes y visualización de datos (Neteler y Mitasova, 2004).

Por otro lado y ante la necesidad de la sociedad de una mejor información acerca de la distribución geográfica de los recursos de la tierra, se crearon los satélites para obtener esta información, en base a la premisa de que los paisajes de la superficie de la tierra pueden ser discriminados, categorizados y mapeados en base a su reflectancia (Morain, 1998).

Dentro de la amplia gama de satélites se encuentra el SPOT-5, que fue lanzado en mayo de 2002 y entre sus características está la de proporcionar imágenes multispectrales, formadas por cuatro bandas que cubren el rango del espectro comprendido entre los 0.43-0.89 micrómetros, con una resolución espacial de 10 m (Mather, 2004) y el Quikbird puesto en órbita en octubre del 2001 y suministra entre otras, imágenes pancromáticas con una resolución espacial de 0.7 m. (Satellite Imaging Corporation, 2006)

El Parque Regional de Sierra Espuña está considerado como el más emblemático de los espacios naturales de la Región de Murcia (figura 1). Es un núcleo montañoso que forma parte de las cordilleras Béticas y que se encuentra enclavado en la zona central de la Región, encajado entre los valles del río Pliego por el norte y del Guadalentín al sur, presenta un escarpado relieve con valles interiores profundos y cumbres elevadas, ramblas y barrancos con afloramientos de agua. En su formación geológica presenta una amplia diversidad de materiales con predominio de caliza. Sierra Espuña por sus particularidades climáticas, con unas medias de precipitación de 500 mm/año y temperatura de 13.8 ° C, viene a constituirse en un reducto de creciente vegetación, pues posee extensas áreas de pinar, en su mayoría de repoblación, siendo uno de los casos más ejemplares de reforestación de la Península Ibérica, creando un paisaje que contrasta con el territorio subárido que le circunda (Parra, 1998; Cánovas y Provencio, 1997).

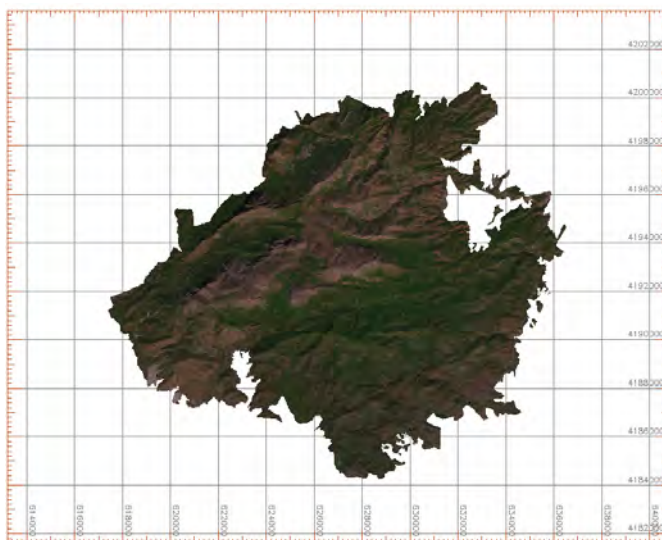


Figura 1. Composición rgb 432, SPOT-5 de la zona de estudio

Ya que una buena gestión de los recursos naturales requiere del mayor conocimiento posible de los mismos y como la vegetación constituye uno de los principales elementos de los ecosistemas terrestres, resulta de gran importancia disponer de un mapa general de la vegetación y uso del suelo de la sierra, de un modo rápido, económico y en lo posible preciso; que es lo que se plantea en este estudio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este trabajo se ha realizado sobre una imagen del satélite SPOT-5 de fecha marzo 20 de 2003, con sus cuatro bandas y con el apoyo de una imagen pancromática de alta resolución, del mismo año, capturada por el satélite Quickbird, geoméricamente corregida.

El tratamiento de preparación de las cuatro bandas de la imagen satelital para el proceso de clasificación, fue su rectificación geométrica, apoyada en puntos de control tomados de la imagen de alta resolución, mismos que cumplían la recomendación de ser píxeles fácilmente identificables y corresponder entre otros con esquinas de arboledas, intersección de caminos, rocas y con la importante condición de que se encontrasen bien distribuidos a través de toda la imagen (Verbyla, 1995).

Determinados los puntos de control, la imagen fue sometida al proceso de transformación y rectificación, fundamentado en una función polinómica de tercer grado y ubicando los píxeles en su nueva posición de acuerdo al algoritmo del vecino más próximo, usado debido a que es un proceso que no requiere la introducción de nuevos valores a los píxeles, por lo que se mantienen los de la imagen original (Solberg, 2007), terminando este proceso previo con la proyección de la imagen en el plano geográfico UTM e interponiendo sobre la misma una máscara correspondiente a los límites del Parque Regional.

La experiencia previa en la utilización de GRASS mostraba para los resultados de una clasificación no supervisada (con un gran número de grupos) una identificación visual, por la tabla de color, que permitía delimitar claramente dos grandes grupos, las zonas naturales y las antropizadas. Sobre esta idea de áreas claramente disjuntas se apoyó la metodología empleada.

El ensayo metodológico propuesto en este trabajo, dentro del entorno de GRASS, bajo el sistema operativo Linux, consiste en la realización de sucesivas clasificaciones no supervisadas, multiespectrales por el uso simultáneo de las cuatro bandas, definiendo en cada paso dos clases mutuamente excluyentes.

En este punto se elige una de las clases y se inicia nuevamente el proceso de forma iterativa hasta que se obtiene una clase que concuerda visualmente con las clases previamente definidas en la imagen de alta resolución, de acuerdo a recomendación metodológica dentro de un proceso de clasificación (Franklin, 2001).

Una vez determinada una clase, se procede a enmascararla y se vuelve a iniciar el proceso mencionado. Establecidas las clases se reúnen los resultados en un solo mapa de la zona de estudio que contiene la máscara de los límites del Parque Regional.

Las clases previamente definidas en la imagen pancromática de alta resolución fueron: bosque, vegetación natural, cultivos y suelo desnudo.

Para el contraste de la bondad de las clasificaciones se hizo un muestreo de áreas correspondientes a las clases definidas, sobre la imagen pancromática de referencia, información que fue cruzada mediante una matriz de confusión y validada estadísticamente mediante el coeficiente Kappa, que busca determinar si una matriz de error difiere significativamente de otra (Congalton y Green, 1999), e indica en qué medida la precisión de la clasificación se debe a cierto acuerdo entre los datos de referencia y los clasificados y en qué medida se podría haber logrado por casualidad (Salovara et al., 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del ensayo metodológico llevado a cabo en el Parque Regional de Sierra Espuña, se registran en la siguiente tabla (tabla 1), con las clases determinadas como bosque, natural, cultivos y desnudo; cuya distribución espacial se representa en la figura 2.

Tabla 1. Resultados de la clasificación.

Categoría	Clase	Superficie
1	Bosque	12324.4
2	Natural	5006.6
3	Cultivos	305.5
4	Desnudo	177.3
Total		17813.8

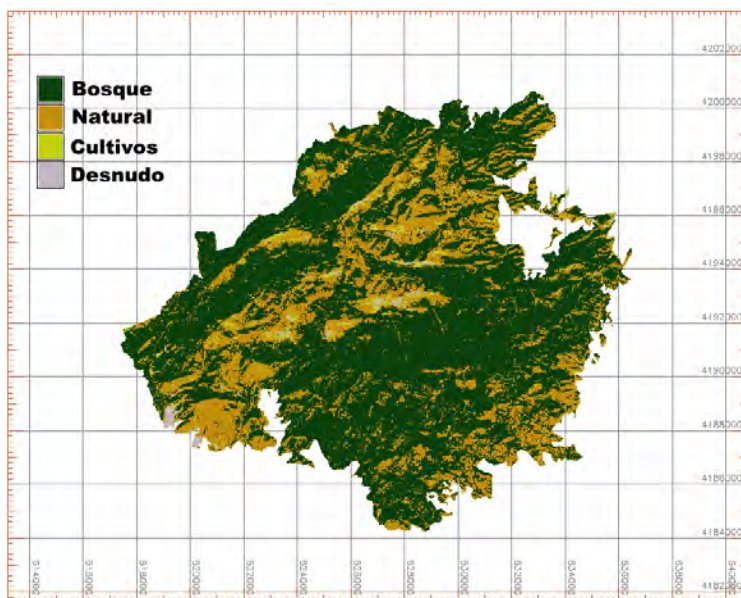


Figura 2. Mapa resultante de la clasificación

Del análisis de la clasificación obtenida por el cruce con la información de referencia, mediante una matriz de confusión (tabla 2), detectamos principalmente el alto grado de aciertos en lo referente a la categoría bosque, en tanto que en la categoría cultivos se da una elevada confusión, misma que puede ser derivada de los constantes cambios que sufren las parcelas dentro de los procesos de cultivo, a la vez que al ser de régimen de secano se confunden con la vegetación natural. Mientras que el espectro disponible (4 bandas) no permite su diferenciación, además de ser unitemporal.

Tabla 2. Matriz de confusión.

		Referencia			
		Categorías	1	2	3
Clasificación	1	19973	66	0	0
	2	848	8153	60	2
	3	37	1853	504	274
	4	0	50	345	1840

De los valores estimados del estadístico Kappa para las diferentes clases (tabla 3), se corrobora la buena clasificación para la clase bosque, natural, desnudo y en contraposición tenemos los valores para la clase cultivos.

Tabla 3. Coeficiente Kappa.

Categoría	Clase	Kappa
1	Bosque	0.99
2	Natural	0.85
3	Cultivos	0.16
4	Desnudo	0.81

CONCLUSIONES

La clasificación de imágenes satelitales SPOT-5 mediante el proceso de sucesivas clasificaciones no supervisadas, por los resultados obtenidos, viene a ser un método viable para la generación de un mapa de vegetación y usos, de una manera rápida y económica.

La metodología propuesta se consideraría útil sobre todo para la discriminación de vegetación arbórea y natural, frente a paisajes antropizados.

Una propuesta de trabajo tendiente a una mejor discriminación de la clase cultivos sería realizar un estudio multitemporal.

AGRADECIMIENTOS

La realización y presentación de este trabajo ha sido gracias a la beca y apoyo financiero otorgado por la Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua y a la puesta a disposición para su uso de las imágenes SPOT-5 que dispone en sus archivos el Instituto Universitario del Agua y del Medioambiente de la Universidad de Murcia y a la cesión del fragmento de la imagen Quickbird por la Consejería de Desarrollo Sostenible y Ordenación del Territorio de la Región de Murcia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cánovas, C. y Provencio, F. (1997): *Descubre Sierra Espuña: unidad didáctica para el conocimiento del Parque Regional de Sierra Espuña*. Región de Murcia, Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua, Murcia, 53 pp.
- Congalton, R. G. y Green, K. (1999): *Assensing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. CRC Press, Boca Raton, 49 pp.
- Franklin, S. E. (2001): *Remote Sensing for Sustainable Forest Management*. CRC Press, Boca Raton, 150 pp.
- Mather, P. M. (2004): *Computer Processing of Remotely-Sensed Images. An Introduction*. Third Edition, John Wiley and Sons, West Sussex, 44 pp.

- Morain, S. A. (1998): *A Brief History of Remote Sensing Applications, with Emphasis on Landsat*. En: D. Liverman, E. Moran, R. Rindfuss y P. Stem (Ed.), *People and Pixels*, National Academy Press, Washington, 39 pp.
- Neteler, M. y Mitasova, H. (2004): *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach*. Second Edition, Springer, 401 pp.
- Parra, J. A. (1998): *Estudio del Medio en Sierra Espuña*. CREA, Murcia, 48 pp.
- Salovara, K.; Thessler, S.; Malik, R. y Tuomisto, H. (2005): Classification of Amazonian primary rain forest vegetation using Landsat ETM+ satellite imagery. *Remote Sensing Of Environment*, 97: 39-51.
- Satellite Imaging Corporation. (2006): *Especificaciones de Imagen y sensor satelitales Quickbird*: <http://www.satimagingcorp.es/gallery-quickbird.html>.
- Schuurman, N. (2004): *GIS a short introduction*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Solberg, A. (2007): *Data Fusion for Remote Sensing Applications*. En: C.H. Chen (Ed.), *Image Processing for Remote Sensing*. CRC Press, Boca Raton, 253 pp.
- Verbyla, D. L. (1995): *Satellite Remote Sensing of Natural Resources*. CRC Press, Boca Raton, pp 84-85.

Hernández-Cordero, A. I., Pérez-Chacón, E. y Hernández-Calvento, L. (2008): Aplicación de tecnologías de la información geográfica al estudio de la vegetación en sistemas de dunas litorales. Resultados preliminares en el campo de dunas de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias). En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 603-617. ISBN: 978-84-96971-53-0.

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AL ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN EN SISTEMAS DE DUNAS LITORALES. RESULTADOS PRELIMINARES EN EL CAMPO DE DUNAS DE MASPALOMAS (GRAN CANARIA, ISLAS CANARIAS)

Hernández-Cordero, A. I., Pérez-Chacón, E. y Hernández-Calvento, L.

Grupo de Geografía Física y Medio Ambiente. Departamento de Geografía. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. C/ Pérez del Toro, 1 (35003) Las Palmas de Gran Canaria. ahernandezc@becarios.ulpgc.es

RESUMEN

La utilización de Tecnologías de la Información Geográfica, siempre apoyada en el trabajo de campo, permite comprender los patrones de distribución de la vegetación en la totalidad de un área de estudio. En este trabajo se muestran los resultados preliminares del análisis de la relación existente entre el tipo de geoforma y la vegetación en el sistema de dunas de Maspalomas. Para ello se ha digitalizado en el entorno de un SIG la cartografía de las unidades de vegetación y la de las geoformas, utilizando como base ortofotos digitales. Posteriormente esta información se ha cruzado mediante técnicas de superposición. Los resultados obtenidos proporcionan información cuantificada y corroboran que, en un sistema de dunas, existe una estrecha relación entre la distribución de la vegetación y la de las geoformas.

Palabras Clave: Sistemas de Información Geográfica, ortofoto digital, geomorfología eólica, vegetación de dunas, Islas Canarias.

ABSTRACT

The use of geographic information technology, supported by fieldwork, allows understand the patterns of distribution of vegetation in an entire area of study. This paper shows the preliminary results of the analysis of the relationship between the type of landform and vegetation in the dune system of Maspalomas. Vegetation and landforms units has been digitized within a GIS mapping, using digital orthophotos as a base. This information has been crossed through techniques of overlay. The results provide quantified information and corroborate that in a system of dunes, there is a close relationship between the distribution of vegetation and the landforms.

Key Words: Geographic Information System, digital orthophoto, aeolian geomorphology, dune vegetation, Canary Islands.

INTRODUCCIÓN

Las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) en general y, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en particular, han sido utilizados para el estudio de la vegetación de diversos ecosistemas (Palmer y Van Staden, 1992; Franklin, 1995; Guisan et al, 1998). En España, aunque el uso de determinadas fuentes y herramientas integradas en las TIG (fotografías aéreas, ortofotos digitales, imágenes satélites, GPS, etc.) ha sido muy frecuente en este tipo de estudios, no sucede lo mismo con los análisis de la vegetación a través de Sistemas de Información Geográfica, donde las aportaciones son todavía reducidas (Gonzalo et al, 2001; Bermejo, 2002; Fernández et al, 2004). De igual forma, son también escasos los trabajos que analizan la vegetación de los campos de dunas litorales mediante SIG (Shanmugam y Barnsley, 2002; Hernández-Cordero et al, 2006).

Los sistemas de dunas litorales presentan una serie de peculiaridades que los diferencian de otros ecosistemas. Una de las más significativas es precisamente la movilidad de los materiales y de algunas geoformas, así

como los reducidos intervalos temporales en los que se producen los cambios. Estos aspectos inciden de forma dialéctica con la vegetación, de tal forma que la colonización vegetal está muy condicionada por la movilidad de los sedimentos; pero, a su vez, la dinámica sedimentaria lo está por la presencia de especies vegetales. En este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar la relación que existe entre las geoformas, consideradas como un indicador de la existencia de procesos eólicos activos, y la distribución de la vegetación en el sistema de dunas de Maspalomas, utilizando para ello Tecnologías de la Información Geográfica. Esta aproximación se enmarca en una investigación interdisciplinar más amplia, realizada con el objetivo de conocer las alteraciones ambientales inducidas por la actividad turística en el litoral, que se desarrolla en el marco del proyecto “Consecuencias ambientales inducidas por el desarrollo turístico en espacios insulares: alteraciones de los procesos naturales en sistemas de dunas litorales de Canarias y Cabo Verde” (SEJ2007-64959), financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia y fondos FEDER dentro del Plan Nacional de I + D + i.

ZONA DE ESTUDIO

El campo de dunas de Maspalomas, con una extensión de 360,9 ha, está situado en el extremo sur de la isla de Gran Canaria, en el municipio de San Bartolomé de Tirajana. Limita al norte con el campo de golf de Maspalomas y la urbanización Playa del Inglés, al oeste con el barranco de Maspalomas, que forma en su desembocadura una laguna litoral (la Charca de Maspalomas), y al este y el sur con el mar, a través de una playa continua que recibe distintas denominaciones: playas del Inglés (al este), playa de Maspalomas (al sur) y punta de la Bajeta (en su vértice suroriental) (figura 1). Estas dos playas mencionadas constituyen las áreas de entrada y salida de sedimentos eólicos, respectivamente. Atendiendo a la definición establecida por Hesp y Thom (1990), se trata de un campo de dunas transgresivo, caracterizado por la presencia de dunas que se desplazan de su posición original, o que lo han hecho en un pasado reciente. En ello se diferencian de los sistemas progradantes, donde predominan las dunas posicionales que, aún manteniendo procesos eólicos activos, no se desplazan (Vallejo, 2007).



Figura 1. Localización y vista general del área de estudio

El clima de Maspalomas es cálido y seco. Las precipitaciones medias anuales son de 76,2 mm, mientras que la temperatura media anual es de 23,6°C. La característica principal del régimen pluviométrico, al igual que en el resto de Canarias, es la enorme irregularidad anual e interanual de las precipitaciones, así como su torrencialidad. El viento, que constituye uno de los elementos climáticos determinantes en el funcionamiento del sistema de dunas, pues condiciona la movilidad de las dunas, presenta dos direcciones principales (Pérez-Chacón et al, 2007): i) por un lado, las componentes OSO, O y NO, que representan el 36,2 % de las frecuencias anuales, y ii) por otro, las NE, ENE y E, que suponen el 28,8 %. Estas direcciones se alternan en función de la estación del año, de modo que las componentes OSO, O y NO, predominan entre mayo y octubre, mientras que los NE, ENE y E son más frecuentes entre noviembre y febrero, estableciéndose un equilibrio en los meses de abril y octubre. Los vientos efectivos (superiores a los 5,1 m/s), con capacidad para movilizar el sedimento arenoso, predominan durante el invierno (Hernández Calvento, 2006). Un 54,5 % de los mismos presentan una compo-

nente NE, ENE y E, lo que explica que el movimiento de las dunas se produzca en ese sentido, y principalmente durante el invierno.

La vegetación está constituida por comunidades halófilas y psamófilas, xerófilas e higrófilas (Hernández-Cordero et al, 2006). En la actualidad, una parte de este sistema, la menos alterada por la actividad humana, está protegida por la legislación vigente mediante la figura de Reserva Natural Especial.

Fueron precisamente los valores naturales de este espacio, especialmente sus playas y su elevado número de días despejados al año, los que incentivaron el desarrollo turístico de la zona. Éste se inicia hacia la década de los sesenta del siglo XX, y en la actualidad ha dado lugar a uno de los principales núcleos turísticos de Canarias. Según datos procedentes de la Consejería de Turismo y Transporte del Gobierno de Canarias, en 2000 el número total de camas turísticas en esta zona era de 100.690, cifra que equivale al 71% de las plazas existentes en la isla de Gran Canaria, y al 28,9% de la totalidad del archipiélago (Parreño, 2001). El coste ambiental de este proceso ha sido alto, pues, entre otros aspectos, la dinámica eólica ha sido alterada por las edificaciones, y la entrada de sedimentos al interior de sistema es cada vez más reducida. Maspalomas experimenta en la actualidad un déficit sedimentario, y el avance de la vegetación en el interior del sistema contribuye, aún más, a estabilizar los sedimentos. De ahí el interés que presenta conocer cómo se distribuye la vegetación y qué relación guarda con la dinámica eólica.

METODOLOGÍA

El objetivo del presente trabajo es determinar la relación existente entre la distribución de la vegetación y las geoformas. Teniendo en cuenta la importancia de la dimensión espacial en este análisis, se ha recurrido a la utilización de Tecnologías de la Información Geográfica. El procedimiento seguido, basado en un modelo de datos vectorial, se estructura en las siguientes etapas: i) definición y digitalización de las unidades de vegetación, caracterizándolas a partir de la comunidad vegetal dominante en la actualidad; ii) definición y digitalización de las geoformas y iii) análisis espacial de las relaciones entre la vegetación y las geoformas.

Definición y digitalización de las unidades de vegetación

Para caracterizar la vegetación se ha comenzado por la delimitación y definición de unidades homogéneas. Para ello se han utilizado los siguientes documentos: ortofoto digital del año 2003 a escala 1:5.000 y, como documentos de apoyo, fotografías aéreas a escala 1:8.000 del año 2000 y la ortofoto digital oficial de GRAFCAN-Gobierno de Canarias del año 2002, a escala 1:5.000. En primer lugar, se han fotointerpretado los documentos aéreos, delimitándose unidades de vegetación homogéneas diferenciadas a partir de la forma, color, tamaño, densidad, textura y pautas de distribución espacial. Posteriormente, a través de trabajo de campo, se han verificado los límites de las unidades delimitadas y se han caracterizado mediante inventarios de vegetación. Una vez corregidas, las unidades fueron digitalizadas sobre la ortofoto del año 2003 mediante el programa ArcGis 9.1. Cada unidad homogénea fue adscrita a una determinada comunidad vegetal, para lo cual, en primer lugar, se determinó el estrato por biotipo con mayor peso específico y, en segundo lugar, se identificó la especie o especies dominantes del mismo, que fueron posteriormente utilizadas para denominar a la comunidad vegetal. Finalmente, con los resultados se ha elaborado el mapa de vegetación del año 2003 a escala 1:5.000 (figura 2). En aquellos casos en los que varios estratos tenían una importancia similar, se consideró el superior para denominar la unidad.

Definición y digitalización de las geoformas

Considerando toda el área de estudio, y mediante el citado programa, sobre la ortofoto digital del año 2003 se digitalizaron diferentes unidades en función de la actividad eólica que presentaban. Para ello se utilizaron los siguientes criterios:

- Evidencias de procesos eólicos activos: para su identificación se han utilizado tanto las ortofotos digitales como el trabajo de campo. En las imágenes se ha considerado, por un lado, el tipo de geoforma existente, ya que

la presencia de determinadas formas indica la existencia de procesos eólicos activos, como sucede con las dunas libres, las dunas condicionadas por la vegetación y la formación de superficies de deflación, entre otros. Por otro lado, se han comparado diferentes ortofotos recientes (años 1995, 1998, 2002 y 2003) en el entorno del SIG, para determinar el desplazamiento de las dunas, así como para detectar la formación o ampliación reciente de las superficies de deflación. Por lo que respecta al trabajo de campo se ha considerado la presencia de microgeoformas, como rizaduras (*ripples*), o de otros indicios de la existencia de procesos eólicos activos, como la deposición de arena y la deflación a escala de detalle, la exhumación de raíces, la formación de pequeñas dunas, los cambios en la orientación de las crestas y bordes de las dunas, las variaciones en el volumen de arena y el afloramiento de sustratos subyacentes, para lo cual se han utilizado referencias fijas naturales o artificiales (plantas, balizas de los senderos, etc.).

- Aportes de sedimentos: un aspecto que se ha considerado muy importante es la existencia de un aporte continuo de arena hacia las áreas adyacentes. Esto se ha determinado en función de las siguientes variables: existencia de una continua sucesión de dunas de una tipología o varias tipologías determinadas y la presencia de obstáculos (vegetación, infraestructuras humanas, etc.) que interrumpan o reduzcan el tránsito de arena. Esto último permite detectar si determinadas zonas se han quedado aisladas, de tal forma que ya no reciben aportes de sedimentos externos y, en consecuencia, la movilidad actual responde a la simple removilización de los sedimentos depositados con anterioridad.

Las unidades definidas en función de los procesos eólicos constituyen el marco de referencia espacial a partir del cual delimitar las diferentes geoformas existentes en cada una de ellas. Por una parte se han diferenciado las geoformas acumulativas, como, por ejemplo, las dunas; y, por otra, las erosivas, como las depresiones interdunares y las superficies de deflación, entre otras. A su vez, los diferentes tipos de dunas se ha agrupado en dos clases principales: dunas libres y dunas condicionadas por la vegetación.

Análisis espacial y cuantificación de las relaciones entre la vegetación y las geoformas

La metodología sustentada en el SIG se basa en el cruce (*overlay*) del mapa de vegetación del año 2003 con el de geoformas. Para ello se ha utilizado la herramienta *union* (geoprocesamiento) contenida en la aplicación ArcToolbox del programa ArcGis 9.1. Este procedimiento consiste en un proceso de análisis espacial, que supone la obtención de información nueva a partir del cruce de las capas vectoriales. La superficie de cada comunidad que se asocia al tipo de geoforma específica se interpreta como un indicador de la vinculación entre ambos, de modo que cuanta más superficie se relacione con una determinada categoría, se considera que la comunidad vegetal tiene preferencia por desarrollarse en la misma, o que es capaz de tolerar esas condiciones ambientales.

RESULTADOS

Unidades de vegetación

Se han definido y cartografiado 530 unidades de vegetación, que han sido agrupadas en 19 tipos de comunidades vegetales diferentes (figura 2; tabla 1). La totalidad de la zona ocupada por la vegetación es de 125,1 ha, lo que representa el 34,7 % del área de estudio. La comunidad vegetal que ocupa una extensión mayor es la de *Cyperus capitatus-Ononis serrata*, con 65,04 ha y 64 unidades de vegetación; en contrapartida, la que se localiza en una superficie menor es la de *Salsola kali*, con 0,06 ha y 3 unidades de vegetación.

A continuación se describirán de forma breve las comunidades vegetales más destacadas:

- *Traganum moquinii*: comunidad vegetal típica de la zona litoral de los arenales y campos de dunas de Canarias. En Maspalomas se localiza principalmente en la zona de entrada de arenas al sistema, la playa del Inglés. Se trata de una comunidad arbustiva monoespecífica integrada principalmente por la especie *Traganum moquinii*.
- *Cyperus laevigatus*: vegetación herbácea que se desarrolla fundamentalmente en la zona sur del sistema de dunas, cerca de la línea de costa. Está integrada principalmente por el géofito que define la

comunidad, aunque también pueden estar presentes otras especies, como *Juncus acutus*, *Suaeda mollis* y *Tamarix canariensis*.

- *Tamarix canariensis*: comunidad de porte arbóreo dominada por una de las pocas especies de macrofanerófitos existentes en el sistema de dunas de Maspalomas. Se extiende por la mayor parte del área de estudio.
- *Launaea arborecens*: matorral espinoso muy extendido por la mayor parte del campo de dunas. Dependiendo de las condiciones ambientales, el cortejo florístico está integrado por diferentes especies, como *Cyperus capitatus*, *Heliotropium ramosissimum*, *Cenchrus ciliaris*, *Cynodon dactylon*, etc.
- *Heliotropium ramosissimum*: comunidad arbustiva de escaso porte, integrada por caméfitos y nanofanerófitos.
- *Suaeda mollis*: matorral halófilo de porte bajo que se localiza fundamentalmente en la zona central del sistema de dunas.
- *Zygophyllum fontanesii*: comunidad integrada por nanofanerófitos y caméfitos, donde aparte de la propia *Zygophyllum fontanesii*, destacan *Suaeda mollis*, *Tamarix canariensis* y *Frankenia capitata*.
- *Juncus acutus*: comunidad herbácea donde dominan los hemiscriptófitos. Se localiza principalmente en la zona central del campo de dunas y en los alrededores de la Charca de Maspalomas.
- *Cyperus capitatus-Ononis serrata*: vegetación herbácea de poca altura integrada por terófitos y geófitos, además de algunos nanofanerófitos. Se ubica fundamentalmente en el norte del sistema de dunas, donde forma extensas praderas.
- *Schizogyne glaberrima*: comunidad arbustiva escasamente representada, a la que también se encuentra asociada *Juncus acutus* y, en menor medida, *Launaea arborecens* y *Nicotiana glauca*.
- *Phragmites australis*: comunidad helofítica que se localiza principalmente en los alrededores de la Charca de Maspalomas.
- *Plocama pendula*: constituye una de las comunidades más escasas y localizadas. Es una formación arbustiva definida por la presencia de *Plocama pendula* sobre una matriz de la comunidad de *Cyperus capitatus-Ononis serrata*.

También se encuentra un conjunto de comunidades vegetales, principalmente ruderales o de sustitución, que tienen una localización periférica al campo de dunas. Es el caso de las comunidades de: *Mesembryanthemum crystallinum*, *Aizoon canariense*, *Salsola kali*, *Volutaria canariensis*, *Cenchrus ciliaris* e *Hyparrhenia sinaica*, además de la comunidad exótica que está constituida por plantaciones de especies introducidas.

Finalmente, las zonas con vegetación escasa o ausente engloban aquellas áreas donde la cobertura vegetal es muy poco significativa, existiendo únicamente ejemplares vegetales aislados, o es inexistente. También se incluye zonas con escasa cobertura vegetal, donde existe un mosaico de especies vegetales que no es posible incluir en los tipos de comunidades vegetales definidos anteriormente.

Tabla 1. Unidades de vegetación por comunidad vegetal: superficie ocupada en el campo de dunas de Maspalomas en 2003

Comunidad vegetal	Biotipo dominante	Nº unidades de vegetación	Superficie (ha)	% superficie con respecto al total del área de estudio	% superficie con respecto al área ocupada por la vegetación
<i>Cyperus capitatus-Ononis serrata</i>	Herbáceo (geófitos y terófitos)	64	65,04	18,02	52
<i>Tamarix canariensis</i>	Arbóreo (macrofanerófito)	162	23,8	6,6	19
<i>Launaea arborecens</i>	Arbustivo (nanofanerófito)	99	14,6	4,1	11,7
<i>Suaeda mollis</i>	Arbustivo (nanofanerófito)	34	7,9	2,2	6,3
<i>Traganum moquinii</i>	Arbustivo (nanofanerófito)	8	3,4	0,9	2,7
<i>Juncus acutus</i>	Herbáceo (hemicriptófitos)	14	2,6	0,7	2,1
<i>Mesembryanthemum crystallinum</i>	Herbáceo (terófitos)	3	1,8	0,5	1,4
Exótica	Variable	4	1,1	0,3	0,9
<i>Cyperus laevigatus</i>	Herbáceo (geófitos)	92	1	0,3	0,8
<i>Zygophyllum fontanesii</i>	Arbustivo (nanofanerófito)	24	0,9	0,2	0,7
<i>Volutaria canariensis</i>	Herbáceo (terófitos)	7	0,7	0,2	0,5
<i>Phragmites australis</i>	Herbáceo (hemicriptófito)	3	0,7	0,2	0,6
<i>Heliotropium ramosissimum</i>	Arbustivo (caméfito)	2	0,7	0,2	0,6
<i>Aizoon canariense</i>	Herbáceo (terófitos)	3	0,4	0,1	0,3
<i>Hyparrhenia sinaica</i>	Herbáceo (hemicriptófitos)	1	0,1	0,02	0,08
<i>Plocama pendula</i>	Arbustivo (nanofanerófito)	3	0,09	0,02	0,07
<i>Schizogyne glaberrima</i>	Arbustivo (nanofanerófito)	1	0,09	0,02	0,07
<i>Cenchrus ciliaris</i>	Herbáceo (hemicriptófitos)	3	0,08	0,02	0,06
<i>Salsola kali</i>	Herbáceo (terófitos)	3	0,06	0,02	0,05
Subtotal	-	530	125,1	34,6	100
Vegetación escasa o ausente	-	23	235,8	65,4	-
Total	-	553	360,9	100	-

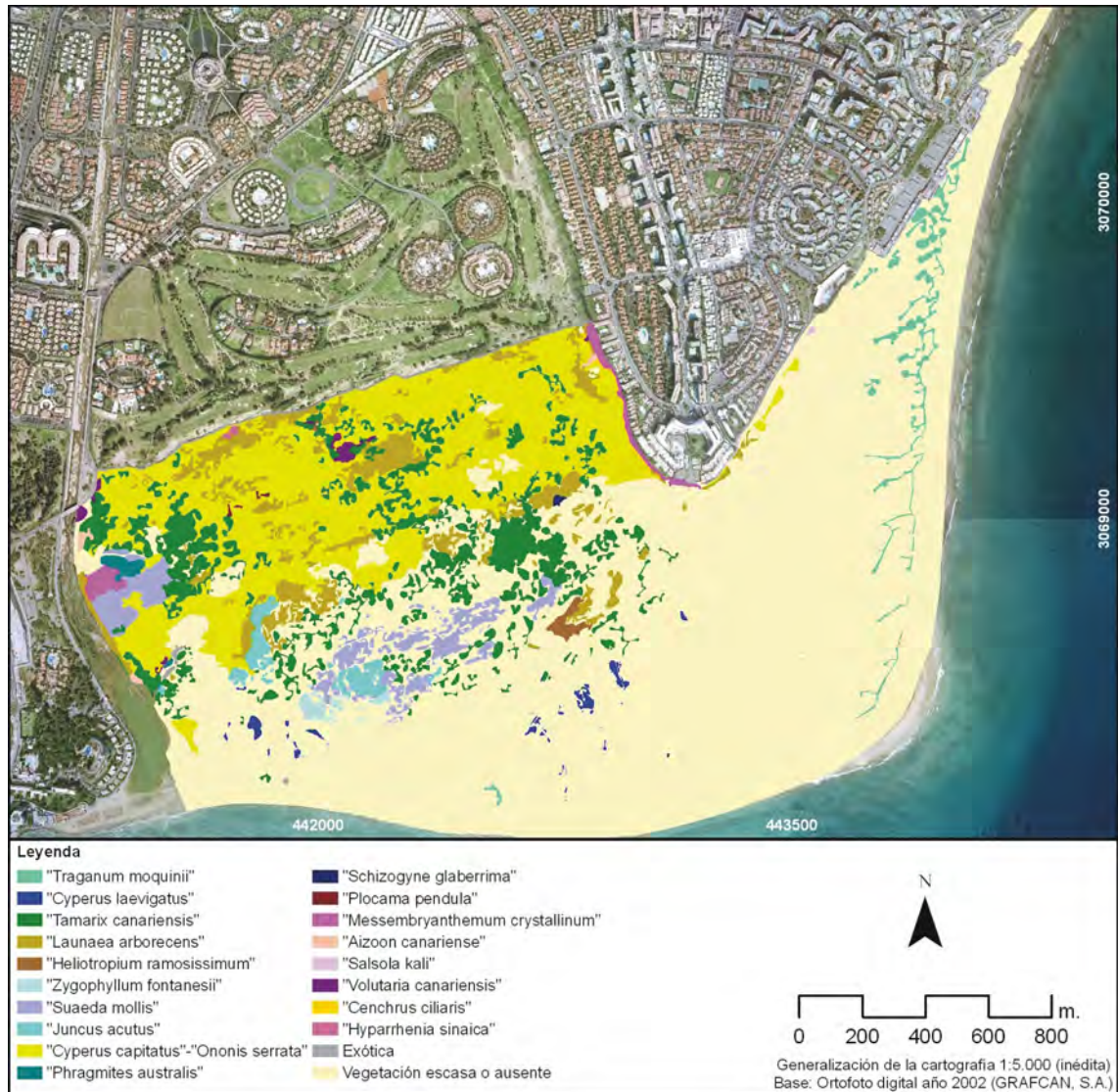


Figura 2. Comunidades vegetales del campo de dunas de Maspalomas (2003).

Geformas

Se han diferenciado tres zonas en función de la existencia de procesos eólicos activos: zona activa, zona en proceso de estabilización y zona estabilizada. Las unidades geomorfológicas identificadas dentro de estas unidades son un total de 173.

- Características generales

La característica principal de la zona activa es que actualmente sigue recibiendo un aporte continuo de sedimentos, de tal forma que las dunas en tránsito son reemplazadas de forma constante por otras nuevas. Predominan las dunas libres, pero también están presentes otras condicionadas por la vegetación u obstáculos topográficos. La superficie ocupada por la vegetación es muy escasa, y ésta se presenta en forma de núcleos aislados. En definitiva, el sistema está constantemente en proceso de renovación por el aporte de nuevos sedimentos. Constituye un área continua, que se extiende desde la playa del Inglés, al este del área de estudio, hasta la Charca de Maspalomas, en el extremo oeste. Ocupa una superficie total de 208 ha, lo que equivale al 57,6 % del actual campo de dunas de Maspalomas.

La zona en proceso de estabilización no tiene continuidad espacial, pues la compone un conjunto de unidades aisladas entre sí. Ocupa principalmente la zona central del sistema de dunas, aunque algunas unidades se localizan en el sector norte, dentro de la zona estabilizada situada a sotavento de la urbanización Playa del Inglés. Son áreas en las que se ha reducido el aporte de sedimentos, de tal forma que incluso en algunas de ellas se ha interrumpido totalmente la alimentación. Ello se debe a la urbanización de la terraza alta del Inglés, cuyas edificaciones actúan como una pantalla eólica, alterando el flujo eólico, así como al aumento de la cobertura vegetal. Se diferencian dos procesos eólicos activos principales: i) por un lado, la erosión, que se materializa en la formación de amplias superficies de deflación y, ii) por otro, la acumulación de arena, que da lugar a la existencia de zonas móviles residuales. Estas últimas, en unos casos, aún continúan recibiendo aportes de sedimentos externos, pero de forma reducida, limitándose a las áreas contiguas a la zona activa que no poseen obstáculos significativos; mientras que en otros casos presentan una total desconexión de las áreas actuales de aportes de sedimentos. En este último caso, la movilidad que presentan las dunas es el resultado de la removilización de los sedimentos existentes. Ocupa una superficie de 48,7 ha lo que, a su vez, supone el 13,5 % del área de estudio.

La zona estabilizada se caracteriza por la ausencia de procesos eólicos activos, de tal forma que las dunas se encuentran casi totalmente fijadas por la vegetación, que se extiende prácticamente por toda su superficie. En la actualidad, gran parte de la zona estabilizada presenta un aspecto bastante plano, donde a veces resulta difícil identificar las geoformas dunares antiguas. No obstante, todavía se reconocen depresiones interdunares y antiguas dunas transversales. La zona estabilizada ocupa todo el norte del sistema de dunas, a sotavento de la terraza alta del Inglés, prolongándose en algunos sectores hacia la parte central del mismo. Tiene una superficie 104,2 ha, equivalente al 28,9 % del campo de dunas.

- Unidades geomorfológicas

Cada una de las zonas delimitadas en función de la actividad eólica del sistema se ha subdividido, a su vez, en diferentes unidades geomorfológicas, obteniéndose como resultado el mapa correspondiente (figura 3).

Unidades geomorfológicas de la zona activa

En la zona activa se han identificado seis unidades: playa, duna costera (*foredune*), dunas transgresivas bajas, dunas transgresivas altas, depresiones interdunares y superficies de deflación. Además de otras dos unidades de origen antrópico: talud con depósitos antrópicos y depósitos antrópicos cubiertos arena. A continuación se caracteriza cada una de estas unidades:

La zona activa posee dos playas: i) la playa del Inglés, con orientación N-S, que constituye la zona de entrada de sedimentos al sistema (Martínez, 1986); y ii) la playa de Maspalomas, que tiene una orientación E-O y constituye el área de salida de sedimentos. La delimitación entre la playa y el mar se ha realizado considerando la zona de arena seca, es decir, la playa alta. Hacia el interior, la playa queda delimitada por el contacto con las dunas.

La primera unidad que aparece tras la playa del Inglés es la duna costera. Ésta no forma un cordón continuo, sino que se trata de un conjunto de dunas aisladas en montículo (tipo *hummock*), formadas por ejemplares de *Traganum moquinii*. Detrás de la duna costera se originan dunas transgresivas bajas, formadas por dunas libres, principalmente barjanas, aunque también aparecen láminas de arena. Tanto unas como otras se desplazan estacionalmente por amplias superficies de deflación, donde aflora arena húmeda como consecuencia de la escasa profundidad a la que se encuentra la capa freática.

Tras estas unidades, se localizan las dunas transgresivas altas, donde los sedimentos se encuentran bien organizados en forma de cordones dunares, principalmente cordones barjanoides, aunque también transversales, con direcciones de desplazamiento predominantes E-O y NE-SO. Entre estos cordones se intercalan depresiones interdunares de dimensiones variables y duración temporal, en los que afloran los sustratos situados bajo las arenas móviles, como consecuencia de los procesos de deflación asociados al desplazamiento de las mismas. Asimismo, estas geoformas presentan un desplazamiento espacial vinculado al propio movimiento de los cordones de dunas (Nadal y Guitián, 1983), por lo que se pueden definir como depresiones interdunares móviles. En

aquellas zonas con menor aporte de sedimentos, como es el caso de las más cercanas a la terraza alta del Inglés, los cordones de dunas se desdibujan para pasar a convertirse en dunas barjanas y láminas de arena.

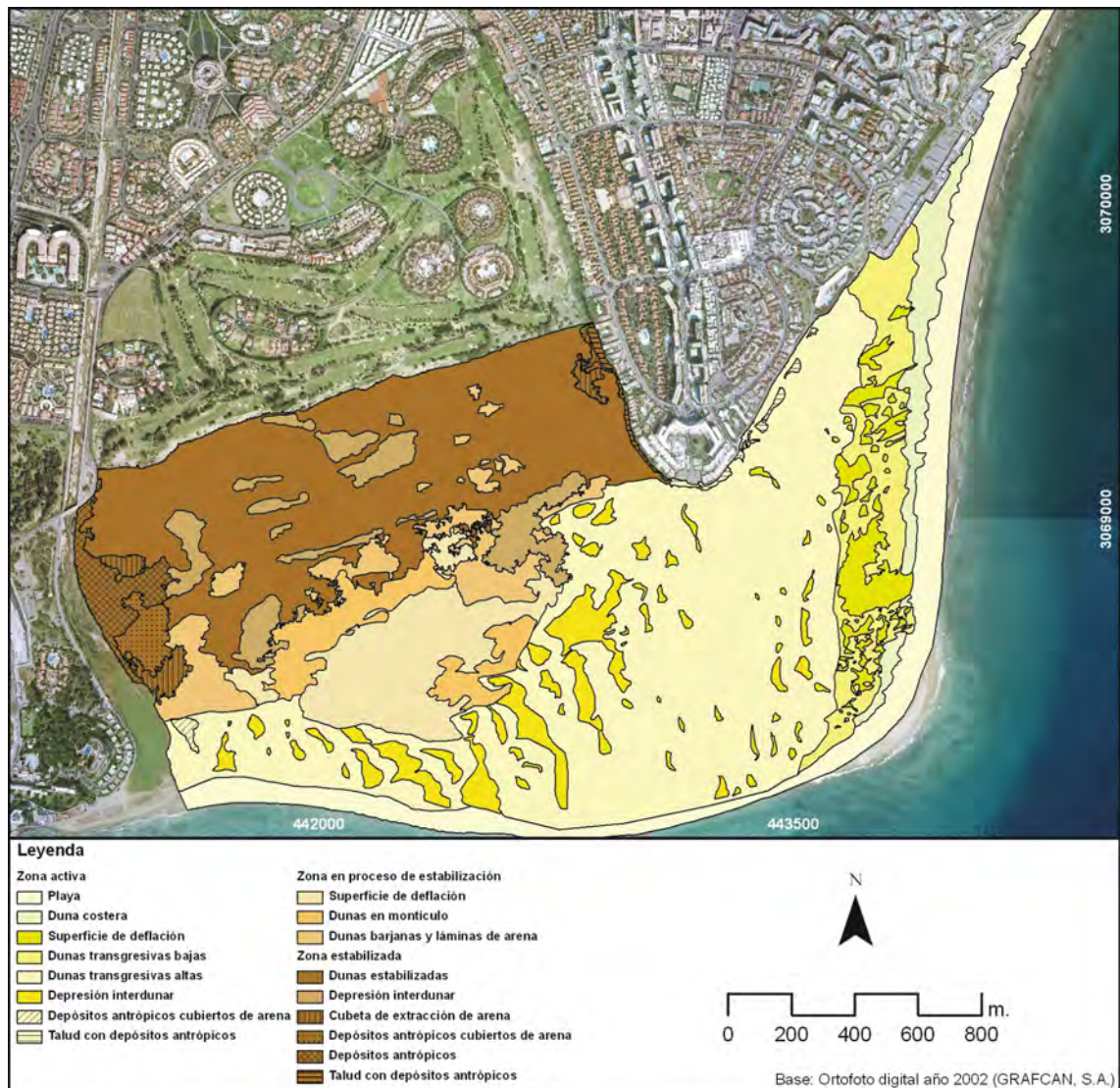


Figura 3. Unidades geomorfológicas del campo de dunas de Maspalomas (2003).

Unidades geomorfológicas de la zona en proceso de estabilización

En la zona en proceso de estabilización se han diferenciado tres unidades geomorfológicas: dunas barjanas y láminas de arena, dunas en montículo (*hummock dune*) y superficies de deflación.

Las dunas barjanas y las láminas de arena son las geformas más activas, y están escasamente cubiertas por la vegetación. Aparecen de forma dispersa, careciendo de aportes sedimentarios externos.

Las dunas en montículo o *hummock* han sido originadas por ejemplares de *Tamarix canariensis* antiguos y de gran porte. La acción del viento sobre este tipo de dunas produce procesos erosivos, que dan lugar a dunas piramidales (*remnant knobs*). Se localizan en dos unidades situadas alrededor de la superficie de deflación central, la que está ubicada hacia el sur todavía recibe aportes de sedimentos procedentes de la zona activa.

Por su parte, las superficies de deflación se encuentran en la zona central del campo de dunas. Son geformas planas, resultado de la desaparición progresiva de las dunas por la dinámica sedimentaria eólica, sin que se

haya producido la llegada de nuevos depósitos sedimentarios, debido a la carencia de aportes de arena. En general, las que aparecen en Maspalomas corresponden a espacios donde la deflación eólica ha exhumado el sustrato infrayacente (depósitos aluviales, arena húmeda, etc.), y se deben a la interrupción del tránsito de sedimentos originada por las intervenciones turísticas o la disminución de la entrada de los mismos asociadas a un proceso natural de déficit sedimentario (Hernández Calvento, 2006). Sobre estas geoformas se desplazan algunas dunas barjanas y láminas de arena. En las superficies de deflación también se forman dunas en montículo, aunque en este caso de pequeño tamaño, generadas por la retención de los sedimentos en tránsito por parte de la vegetación, principalmente *Suaeda mollis*, *Zygophyllum fontanesii* y *Tamarix canariensis*.

Unidades geomorfológicas de la zona estabilizada

La zona estabilizada presenta seis unidades geomorfológicas: dunas estabilizadas, depresiones interdunares, talud con depósitos antrópicos, depósitos antrópicos cubiertos de arena y cubetas de extracción de arena. Las dunas estabilizadas están totalmente cubiertas por la vegetación. Presentan alturas diferentes en función del tipo original de duna. Las más bajas corresponden a antiguas dunas barjanas y láminas de arena, mientras que las altas fueron en origen cordones. Las depresiones interdunares son áreas deprimidas situadas entre las dunas. Las otras cuatro unidades son el resultado de la actividad humana, tratándose de zonas en las que se extrajo arena, se depositaron escombros o se removió el sustrato.

Relación entre la vegetación y las geoformas

Una vez definidas, caracterizadas y cartografiadas las unidades geomorfológicas, la capa de información resultante se ha relacionado con la distribución de las unidades de vegetación, con el fin de establecer la relación existente entre ambas variables. La superposición entre los dos mapas ha dado como resultado un mapa derivado donde se relacionan la vegetación y las geoformas. En el análisis no se han considerado ni las unidades geomorfológicas de origen antrópico, ni la vegetación exótica que se corresponde con plantaciones de especies introducidas (*Casuarina equisetifolia*, *Opuntia dillenii*, etc.), pues su distribución no está vinculada a la dinámica eólica.

El mapa resultante está compuesto por 43 categorías y 610 polígonos. A éstas habría que añadir otras 9 categorías, que incluyen 179 polígonos, donde la vegetación es escasa o ausente. En una primera aproximación, y considerando únicamente las tres zonas definidas en función de la actividad del sistema de dunas, se constata que existe una serie de comunidades vegetales adaptadas a vivir preferentemente en la zona activa, entre ellas destacan las siguientes: *Traganum moquinii*, *Salsola kali*, *Cyperus laevigatus* y *Heliotropium ramosissimum*. Por el contrario, otras comunidades vegetales únicamente son capaces de habitar la zona estabilizada, como es el caso de la comunidad de *Mesembryanthemum crystallinum*, la de *Volutaria canariensis*, la de *Phragmites australis*, la de *Aizoon canariense*, la de *Hyparrhenia sinaica*, la de *Plocama pendula*, la de *Schizogyne glaberrima* y la de *Cenchrus ciliaris*. Asimismo, existen otras que pueden instalarse indistintamente en varias zonas: la comunidad de *Cyperus capitatus-Ononis serrata*, la de *Launaea arborecens*, la de *Tamarix canariensis*, la de *Suaeda mollis* y la de *Juncus acutus*. Finalmente, la comunidad de *Zygophyllum fontanesii* solamente se localiza en las zonas en proceso de estabilización.

Por lo que respecta a la relación entre la vegetación y las unidades geomorfológicas de la zona activa, se observa que las comunidades vegetales se localizan preferentemente en las depresiones interdunares, excepto la comunidad de *Traganum moquinii* y la de *Tamarix canariensis* (figura 4). La mayor parte de la superficie de la primera comunidad vegetal se localiza en la duna costera. Asimismo, también esta comunidad ocupa la playa, las dunas transgresivas bajas, las dunas transgresivas altas y las depresiones interdunares. Por su parte, la comunidad de *Tamarix canariensis* se ubica preferentemente en las dunas transgresivas altas, aunque también ocupan de forma significativa las depresiones interdunares. Entre las comunidades que se distribuyen mayoritariamente en las depresiones interdunares, cuatro lo hacen de forma exclusiva: la comunidad de *Cyperus laevigatus*, la de *Heliotropium ramosissimum*, la de *Salsola kali* y la de *Suaeda mollis*. Por su parte, la comunidad de *Launaea arborecens* se localiza fundamentalmente en depresiones interdunares, aunque un pequeño porcentaje de su superficie también se ubica en las dunas transgresivas altas. En este caso, se trata de áreas en las que las dunas avanzan sobre las depresiones interdunares donde se desarrolla esta comunidad, cubriéndola parcialmente. Por

lo tanto, de las siete comunidades vegetales existentes en la zona activa, cinco de ellas se localizan principalmente en las depresiones interdunares, lo que indica la gran importancia que posee esta geoforma en la distribución de la vegetación. En contrapartida, la vegetación es prácticamente inexistente en los primeros cordones de dunas, donde las depresiones interdunares son muy escasas.

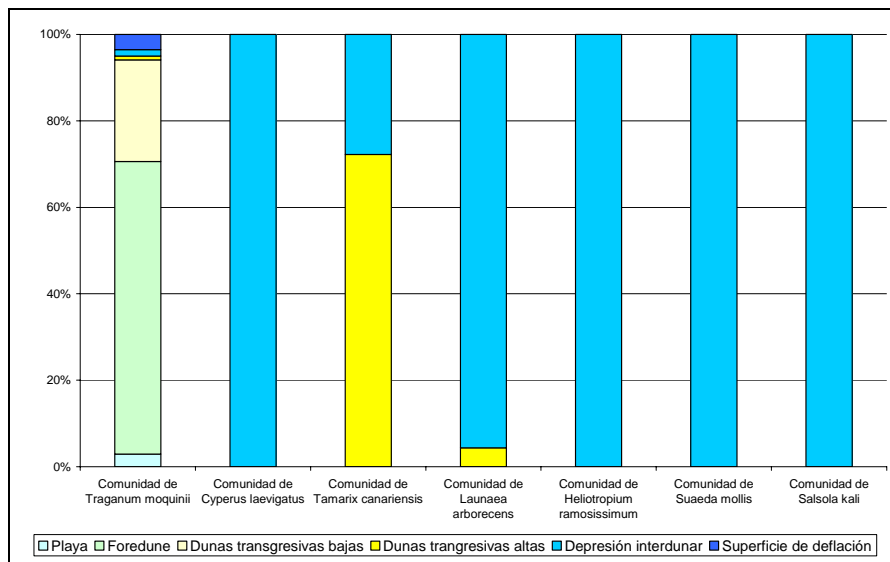


Figura 4. Distribución de las comunidades vegetales en relación con las unidades geomorfológicas de la zona activa.

En la zona en proceso de estabilización existe una clara vinculación de la vegetación con las superficies de deflación (figura 5). De las siete comunidades vegetales existentes, un total de cinco se localizan preferentemente en este tipo de geoforma, de las que tres de ellas se ubican de forma exclusiva en la misma. Las otras dos comunidades restantes se distribuyen principalmente sobre geoformas acumulativas. Así, la comunidad de *Cyperus capitatus-Ononis serrata* se encuentra asociada de forma exclusiva a las dunas barjanas y láminas de arena, lo que denota su carácter psamófilo. La comunidad de *Tamarix canariensis* se localiza, por orden de importancia, en: las dunas en montículo, las superficies de deflación y las dunas barjanas y láminas de arena.

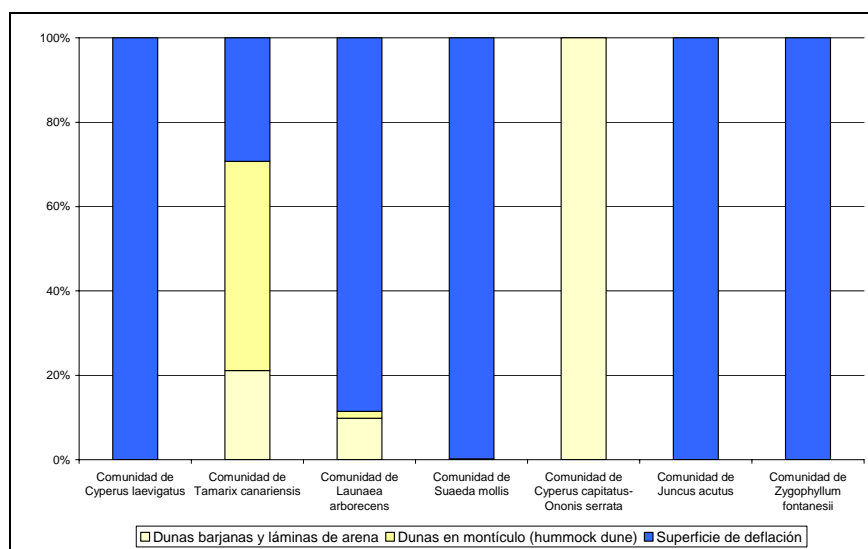


Figura 5. Distribución de las comunidades vegetales en relación con las unidades geomorfológicas de la zona en proceso de estabilización.

En contraste con los anteriores casos, las comunidades vegetales de la zona estabilizada se localizan mayoritariamente sobre dunas estabilizadas (figura 6). De esta forma, comunidades que en las anteriores zonas se localizaban principalmente en depresiones interdunares, como es el caso de la comunidad de *Launaea arborecens*, ahora ocupan dunas estabilizadas. Otras dos comunidades, la de *Volutaria canariensis* y la de *Schizogyne glaberrima*, se ubican principalmente en depresiones interdunares, además de la comunidad de *Juncus acutus* que está asociada de forma exclusiva a este tipo de geoforma.

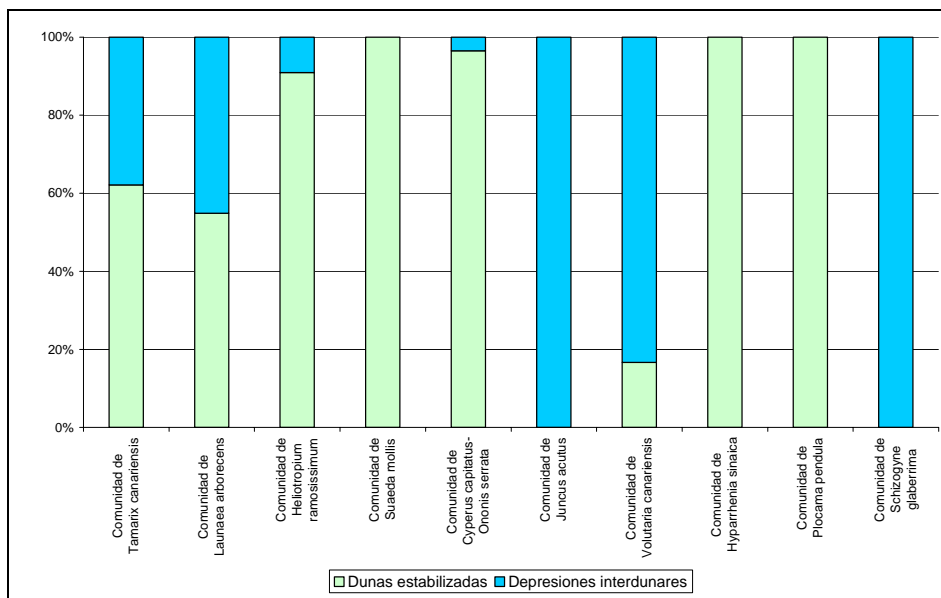


Figura 6. Distribución de las comunidades vegetales en relación a las unidades geomorfológicas de la zona estabilizada.

Finalmente, se ha analizado el grado de ocupación que posee la vegetación en cada una de las zonas, considerando únicamente las geoformas acumulativas, es decir, las dunas. Las de la zona activa están cubiertas de vegetación en un 3,1 %, porcentaje que se incrementa en la zona en proceso de estabilización hasta un 20,5 %, mientras que en la zona estabilizada alcanza el 97,6 %. Por lo tanto, la superficie de las dunas ocupada por la vegetación se incrementa conforme se reducen los procesos eólicos activos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En los campos de dunas litorales existe una estrecha vinculación entre la geomorfología y la vegetación. Así por ejemplo, las especies vegetales son uno de los agentes principales en la formación de las dunas, desempeñando un papel muy importante en la determinación de la morfología eólica (Hesp, 1984; Carter, 1988; Hesp, 1989); al tiempo que juegan un papel esencial en la evolución de estos sistemas. En este sentido, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que, en un sistema de dunas litorales, la distribución de la vegetación guarda una estrecha relación con el tipo de geoforma, pero relacionado con la actividad eólica que presenta el sistema. En las zonas donde se mantienen procesos eólicos activos, las comunidades vegetales tienden a distribuirse sobre geoformas erosivas, como es el caso de depresiones interdunares y superficies de deflación. Estas zonas proporcionan más oportunidades para la supervivencia y el desarrollo de la vegetación (mayor proximidad a la superficie de la capa de agua, sustratos aluviales, etc.), en un contexto donde las condiciones ambientales son muy restrictivas. Por el contrario, en la zona estabilizada, la vegetación se distribuye tanto sobre antiguas dunas como en depresiones interdunares. Por lo tanto, en las zonas con procesos eólicos activos, las depresiones interdunares y superficies de deflación constituyen ejes fundamentales en la distribución de la vegetación mientras que, conforme se estabiliza el sistema, se produce un incremento en la ocupación de las dunas propiamente dichas. En

síntesis, las geoformas constituyen un excelente indicador de la presencia de procesos eólicos activos y, por ello, de uno de los factores fundamentales que explican la distribución de la vegetación en este tipo de ecosistemas.

Por lo que respecta a la utilidad de las Tecnologías de la Información Geográfica, siempre apoyadas en el trabajo de campo, para el estudio de las relaciones entre la vegetación y las geoformas en el sistema de dunas de Maspalomas, éstas han revelado su enorme potencialidad. Concretamente los Sistemas de Información Geográfica, frente a otras técnicas basadas exclusivamente en el trabajo de campo, como los transectos, proporcionan información continua de la totalidad del área de estudio, mientras que los transectos sólo lo hacen de zonas concretas. La utilización de un método sencillo, como la superposición de capas, ha permitido realizar una aproximación a los patrones de distribución de la vegetación en función de las geoformas, que será utilizada en futuros trabajos para ampliar el análisis a otros factores ambientales. Además, se ha podido calcular la superficie de cada tipo de vegetación vinculada a las diferentes tipos de geoformas, lo que permite precisar las observaciones empíricas realizadas en el terreno.

Por lo que respecta a las conclusiones que se pueden extraer de este trabajo, consideramos que la utilización de las Tecnologías de la Información Geográfica en el estudio de la vegetación presenta las siguientes ventajas:

- 1) Permiten cartografiar algunas variables, de gran importancia en la distribución de la vegetación, en la totalidad del área de estudio. A este respecto, hay que destacar la posibilidad de integrar otras fuentes de información auxiliares como datos procedentes de GPS, mapas topográficos, fotografías aéreas u ortofotos digitales de diferentes escalas y fechas, Modelos Digitales de Elevaciones (MDE), etc, que permiten una cartografía más precisa con la simple comparación visual de las capas por superposición.
- 2) Se pueden realizar análisis más complejos, estadísticos o espaciales, como el cruce de capas de información, de cara a obtener nuevas capas, como resultado de la intersección de las originales, y cuantificar estas relaciones.
- 3) Todo esto permite obtener una visión espacial global de las relaciones existentes entre las comunidades vegetales y las geoformas.

Sin embargo, también se dan una serie de limitaciones que conviene señalar. La digitalización de las unidades de vegetación de forma manual tiene una carga subjetiva, y no está basada en un procedimiento de medida definido explícitamente (Kadmon y Harari-Kremer, 1999). Por ello, hay que tener en cuenta que los resultados obtenidos siempre están condicionados por la precisión en la determinación de los límites de los factores considerados y de las unidades de vegetación, lo que, a su vez, depende de la experiencia del investigador, del conocimiento que posea del área de estudio y de la calidad de las fuentes de información espacial disponibles, entre otros aspectos. Por otro lado, este método normalmente tiene un mayor coste en cuanto al tiempo empleado para la extracción de las unidades, lo que lo convierte en un procedimiento prohibitivo (Kadmon y Harari-Kremer, 1999). Esto último es especialmente significativo en el caso de áreas de estudio que presentan una gran superficie, ya que no pueden ser abordadas en su totalidad en un periodo de tiempo prudencial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bermejo, J. A. (2002): *Utilización de los Sistemas de Información Geográfica en el análisis de la vegetación y el medio físico. Municipio de Villa de Mazo (La Palma)*. (Tesis de Licenciatura, inédita). Departamento de Biología Vegetal (Botánica). Facultad de Biología. Universidad de La Laguna, 270 pp.
- Carter, R.W.G. (1988): *Coastal environments. An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines*. Academic Press. London. 617 pp.

- Fernández, E.; Salas, M.; Quintana, G.; Martín, M.; Máyer, P. y Pérez-Chacón, E. (2004): Las comunidades de vegetación como bioindicadoras para la delimitación espacial de zonas biogeográficas: una aproximación mediante SIG. *Actas del III Congreso Español de Biogeografía*, Urdaibai, País Vasco, pp 180-187.
- Franklin, J. (1995): Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography*, 19 (4): 474-499.
- Gonzalo, J.; Allué, C. y Cuasante, D. (2001): Metodología de análisis de la cubierta vegetal mediante ortografía digital. Su aplicación a la Combe de Huidobro (Burgos). *III Congreso Forestal Español*, Granada.
- Guisan, A.; Theurillat, J-P. y Kienast, F. (1998): Predicting the potential distribution of plant species in an alpine environment. *Journal of Vegetation Science*, 9: 65-74.
- Hernández Calvento, L. (2006): *Diagnóstico sobre la evolución del sistema de dunas de Maspalomas (1960-2000)*. Cabildo de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria. 361 pp.
- Hernández-Cordero, A.I.; Pérez-Chacón, E. y Hernández-Calvento, L. (2006): Vegetation colonisation processes related to a reduction in sediment supply to the coastal dune field of Maspalomas (Gran Canaria, Canary Islands, Spain). *Journal of Coastal Research*, SI 48: 69-76.
- Hesp, P.A. (1984): Foredune formation in southeast Australia; En: Thom, B.G. (Ed.), *Coastal geomorphology in Australia*. Academia Press, London, pp 69-97.
- Hesp, P.A. (1989): A review of biological and geomorphological processes involved in the initiation and development of incipient foredunes; En: Gimingham, C.H.; Ritchie, W.; Willetts, B.B. y Willis, A.J. (Eds.), *Coastal sand dunes*. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, vol 96B. Roy Soc. Edinb, Edinburgh, pp 181-201.
- Hesp, P.A. y Thom, B.G. (1990): Geomorphology and evolution of active transgressive dunefields; En: Nordstrom, K.F.; Psuty, N.P. y Carter, R.W.G., *Coastal dunes. Form and Process*. Wiley & Sons, Chichester, pp 253-288.
- Hesp, P.A. (1991): Ecological processes and plant adaptations on coastal dunes. *Journal of Arid Environments*, 21: 165-191.
- Kadmon, R. y Harari-Kremer, R. (1999): Studying long-term vegetation dynamics using digital processing of historical aerial photographs. *Remote Sensing of Environment*, 68: 164-176.
- Martínez, J. (1986): Dunas de Maspalomas (Gran Canaria): naturaleza petrológica de sus arenas. *Anuario de Estudios Atlánticos*, 32: 785-794.
- Nadal, I. y Guitián, C. (1983): *El sur de Gran Canaria: entre el turismo y la marginación*. Cuadernos Canarios de Ciencias Sociales, nº 9. Centro de Investigación Económica y Social de la Caja Insular de Ahorros de Gran Canaria, Lanzarote y Fuerteventura. Madrid. 236 pp.
- Palmer, A.R. y Van Staden, J.M. (1992): Predicting the distribution of plant communities using annual rainfall and elevation: an example from southern Africa. *Journal of Vegetation Science*, 3 (2): 261-266.

- Parreño, J.M. (2001): Características de la oferta turística en Maspalomas Costa Canaria En: Hernández, J.A. y Parreño, J.M. (Coords.), *Evolución e implicaciones del turismo en Maspalomas Costa Canaria*. Ayuntamiento de San Bartolomé de Tirajana, pp. 103-127.
- Pérez-Chacón, E.; Hernández Calvento, L., Hernández Cordero, A., Máyer Suárez, P., Romero Martín, L., Alonso Bilbao, I., Mangas Viñuela, J., Menéndez González, I., Sánchez Pérez, I., Ojeda Zújar, J., Ruiz Flaño, P. y Alcántara Carrió, J. (2007): *Maspalomas: claves científicas para el análisis de su problemática ambiental*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 38 pp.
- Shanmugam, S. y Barnsley, M. (2002): Quantifying landscape-ecological succession in a coastal dune system using aerial photography and GIS. *Journal of Coastal Conservation*, 8: 61-68.
- Vallejo, I. (2007): *Caracterización Geomorfológica y análisis de la evolución reciente del sistema de dunas activas del Parque Nacional de Doñana (1956-2001)*. (Tesis Doctoral). Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Sevilla, 468 pp.

Herrera Azorín, T. (2008): Cartografía marina en Canarias. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 618-627. ISBN: 978-84-96971-53-0.

CARTOGRAFÍA MARINA EN CANARIAS

Herrera Azorín, T.

Estudio ITAC S.L. Avda. Mesa y López 45, Local 4. direccion@estudioitac.com

RESUMEN

La presión que ejerce el desarrollo urbano sobre la franja costera requiere del conocimiento del litoral. Es por ello que se requiere mayor volumen de información del medio y para ello se acude al empleo de nuevas tecnologías.

El fomento en los últimos 10 años del uso de equipos de sondas multihaz, sónares de barrido lateral, perfiladores o equipos sub-bottom, está cambiando el concepto de la cartografía marina, requiriendo una mayor especialización y participación de equipos multidisciplinares: cartógrafos, biólogos, oceanógrafos, geólogos, etc.

Se realiza un repaso de la instrumentación requerida, los procedimientos de ejecución, filtrado y depuración de los datos, análisis e interpretación de las distintas fuentes de información y presentación de los resultados. Se toma como referencia los equipos instalados en la embarcación Canarias Litoral.

Se presenta varias tipologías de trabajos (Estudio Bionómico de la isla de Tenerife, Ecocartografía del Norte de Gran Canaria, puertos, emisarios, regeneración de playas, etc.) realizados en el Archipiélago Canario, describiendo su elaboración, desarrollo y resultados.

Palabras Clave: multihaz, sónares, perfiladores, sub-bottom.

ABSTRACT

The pressure on urban development in coastal requires knowledge of the coastline. That is why we require greater volume of information media and this goes for using new technologies.

The promotion in the past 10 years the use of multibeam equipment probes, side-scan sonar, profiling or equipment sub-bottom, is changing the concept of marine cartography, requiring greater specialization and involvement of multidisciplinary teams: cartographers, biologists, oceanographers, geologists, etc.

We carried out a review of the instrumentation required, enforcement procedures, filtering and cleansing of data, analysis and interpretation of the various sources of information and presentation of results. It takes as a reference equipment on the boat Canary Littoral.

It presents various types of work made in the Canary Islands (bionomic study of the island of Tenerife, Ecocartografía North of Gran Canaria, ports, emissaries, reclamation of beaches, etc.), describing its design, development and results.

Key Words: multibeam, sonar, profiling, sub-bottom

INTRODUCCIÓN

La presión que ejerce el desarrollo urbano sobre la franja costera requiere del conocimiento del litoral. Es por ello que se requiere mayor volumen de información del medio y para ello se acude al empleo de nuevas tecnologías. El fomento en los últimos 10 años del uso de equipos de sondas multihaz, sónares de barrido lateral, perfiladores o equipos sub-bottom, está cambiando el concepto de la cartografía marina, requiriendo una mayor especialización y participación de equipos multidisciplinares: cartógrafos, biólogos, oceanógrafos, geólogos, etc.

En este trabajo se presentan varios ejemplos de trabajos realizados en el Archipiélago Canario, describiendo su elaboración, desarrollo y resultados (Estudio Bionómico de la isla de Tenerife, Ecocartografía del Norte de Gran Canaria, puertos, emisarios, regeneración de playas, etc.). Para ello se realiza un repaso de la instrumentación requerida, los procedimientos de ejecución, filtrado y depuración de los datos, análisis e interpretación de las distintas fuentes de información, tomado como referencia los equipos instalados en una embarcación dedicada a estudios de cartografía marina costera: CANARIAS LITORAL. Se trata ésta de una embarcación que en su diseño fue constituida como unidad ligera y de actuación rápida, para ello esta unidad se transporta sobre remolque pudiendo fácilmente desembarcada en cualquier dique o pequeño abrigo. Esto facilita un rápido desplazamiento a las zonas de actuación, reduciendo los tiempos y los costes de producción.



Figura 1. Canarias Litoral realizando botadura en un pequeño dique

Canarias litoral dispone de los siguientes equipos;

Tabla 1. Equipos de CANARIAS LITORAL

Equipo	Marca y modelo	Finalidad
Sonda Multihaz – interferométrica	Geocaoustics - GeoSwath 250 kHz	Captura de datos de profundidad de barrido lateral, así como datos de sonar
Sensor Movimiento MRU	TSS - DMS	Captura de movimientos
GPS	Astech GG24	Navegación, DGPS, RTK
Girocompas - GYRO	TSS - Meridiam Surveyor Gyrocompass	Datos precisos de l rumbo de la embarcación
Altímetro	Tritón	Guía de alturas
Sensor de velocidad del sonido - SVS	Valeport – 650 MK2	Captura de registros de variación de la velocidad del sonido a distintas profundidades para determinar la columna de agua
Sonar de barrido lateral ++ Polea contadora - SSS	C-Max - CM2	Captura de datos sonar
Perfilador	Innomar – SES 2000	Captura de datos bajo el
Mareografo	Valeport 740	Captura de registros de marea
4 PC y programas	Varios	Cuatro unidades de control de cada uno de los equipos, entre ellos la unidad de navegación que asiste al resto, desarrollada por ITAC sobre plataforma gráfica para la navegación sobre cartografía.

Canarias Litoral: sistemas

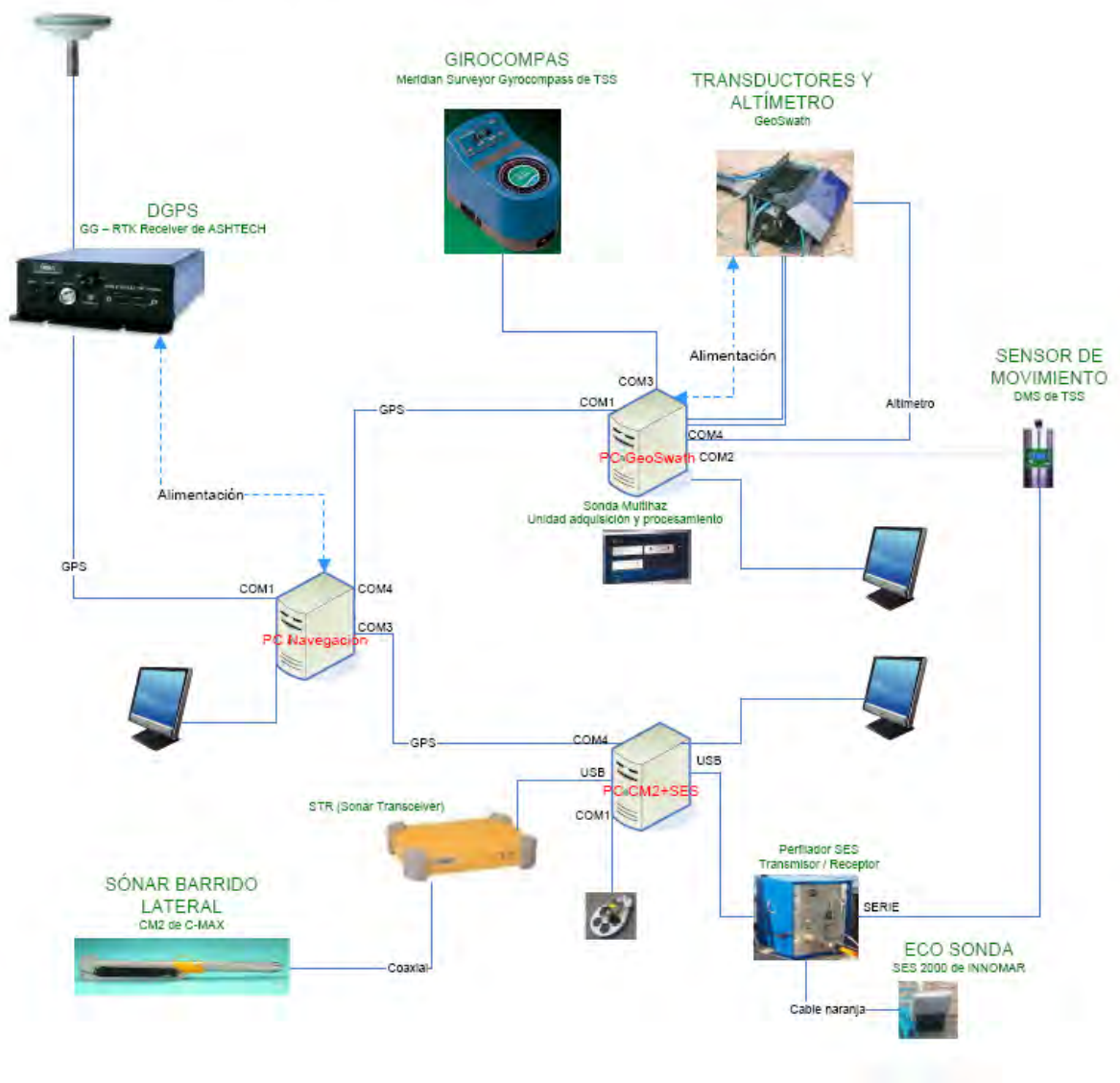


Figura 1. Sistemas de Canarias Litoral

PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN DE UNA BATIMETRÍA COSTERA

Planificación de las campañas

Previamente a la realización de los trabajos de batimetría se debe establecer una planificación de ejecución, para ello empleando la cartografía base, se estipula la ubicación del GPS base en tierra que aportará junto con el GPS del barco una navegación en modo RTK, garantizando así las mejores resoluciones.

Empleando plataformas de CAD o GIS se definen los posibles ejes de navegación, dependiendo de la cobertura de nuestros equipos. Estos ejes definidos como rutas, serán cargados sobre la aplicación de navegación en nuestro caso sobre GSJ, aplicación desarrollada por ITAC, esta aplicación guía al patrón a navegar en ruta.

Montaje y Calibración

Previo a la ejecución de los trabajos de batimetría, se deben montar los equipos en la embarcación designada para tal fin, estos se debe distribuir de manera lógica a su uso. Esta distribución debe ser rigurosa ubicando cada uno de los equipos conformando ángulos y distancias conocidas, se realizar mediciones topográficas con la embarcación en tierra, para determinar la posición relativa de cada uno de los componentes.

El proceso de calibración consiste en la realización de diferentes mediciones para evaluar y definir los valores para compensar los desfases de latencia, roll, pitch, yaw, etc., que pudieran existir.

Establecimiento del sistema de referencia de coordenadas

Se debe disponer de coordenadas oficiales en las proximidades de la zona de actuación, para ello se traslada mediante observaciones topográficas una red de bases que cubra el entorno del trabajo.

Partiendo de la red de vértices geodésicos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y empleando dos antenas GPS, se determinan las coordenadas así como las elevaciones ortométricas a partir de las elipsoidales observadas, aplicando las correcciones por ondulación del geoide obtenidas a través de la aplicación NCANA del IGN, o bien trasladando mediante nivelación desde un punto de la red de nivelación de alta precisión (NAP).



Figura 2. GPS en vértice geodésico y en zona base costera

Esta red de bases distribuida por la costa dará cobertura a todos los trabajos necesarios para definir una batimetría costera, entre ellos la toma de datos desde la embarcación, levantamiento topográfico costero y levantamiento topográfico intermareal.

Establecimiento del sistema de referencia de elevaciones

Los trabajos de batimetría deben referir las elevaciones a la Bajamar Máxima Viva Equinoccial (BMVE), para ello se debe determinar la relación entre el Nivel Medio del Mar (NMM) y la BMVE.

Estableciendo una base en el entorno del trabajo de la que hallamos determinado sus elevaciones ortométricas, esta base debe garantizar la estabilidad de la instalación de un mareógrafo y estar al abrigo del oleaje, de forma que las mediciones estén libres de los efectos de ascenso y descenso de las olas.

El mareógrafo, registra los datos de variación de altura de marea, con los que se construye la curva de mareas local que es comparada con la curva del Puerto Patrón, determinando los desfases con respecto a este, estableciendo así la cota de BMVE del lugar.

La BMVE es transferida al resto de la red de bases que asiste los trabajos que conforman la batimetría costera.



Figura 3. Mareógrafo instalado en un dique

Durante la captura de datos de batimetría, el mareógrafo registra datos a intervalos de 5 minutos, para ello ambos sistemas se configuran en tiempo UTC. Estos datos serán empleados para corregir las observaciones de profundidad por correlación de tiempos considerando la elevación de marea en cada instante.

Metodología de observación de la batimetría

En la captura de datos de batimetría interviene el GPS base, GPS móvil, MRU, Girocompás, Sonda Multihaz, SVS y mareógrafo.

Con los datos aportados por el GPS en modo RTK, navegando sobre una cartografía base, y con los ejes de referencia planificados, el patrón intenta mantener las rutas preestablecidas a una velocidad constante, si todos los datos cumplen los requisitos de calidad preestablecidos, son registrados, de no ser así el sistema deja de registrar emitiendo los pertinentes mensajes de pérdida de calidad. En estos registros son capturados posiciones, movimientos, rumbos, y datos de profundidad.

Se recorren los ejes de forma lineal, con pasadas de recubrimiento que garantizan la duplicidad de datos, de no ser así podrían existir elementos que queden en sombra. Se debe realizar también pasadas paralelas a la costa recorriendo la silueta de ésta, en el momento de pleamar, de forma que podamos obtener datos que garanticen un solape con los capturados desde tierra. Estas observaciones se deben realizar evitando días de mar de fondo, dado que las burbujas de aire provocan falsas mediciones y dificultan por tanto el filtrado de los datos.

El SVS se emplea para definir las variaciones de transmisión de velocidad del sonido en el agua, por variaciones de densidad o salinidad del agua. Para ello se debe realizar una captura homogénea de puntos de muestreo, en cada uno de los puntos de muestreo se registran valores en toda la columna de agua. Teniendo especial atención a localizaciones donde puedan existir mayores variaciones como pueden ser barrancos, ríos, emisarios, etc.



Figura 4. Embarcación Canarias Litoral, realizando una batimetría costera

Levantamiento topográfico costero

Para el perfecto solape de la información de los datos capturados por tierra y mar se realiza el levantamiento topográfico de la costa mediante técnicas de observación con GPS o estaciones totales.

Para el levantamiento de la zona intermareal se observa esta en el momento de bajamar, un operador con traje de neopreno y calzado apropiado, portando un jalón con prisma recorre la costa introducido en el agua mientras desde tierra se realizan observaciones con estación total.



Figura 5. Técnico y auxiliar realizando levantamiento topográfico de la zona intermareal

Cálculos, correcciones y filtrados de los datos de batimetría

En los cálculos de la batimetría intervienen los datos del GPS, Sonda Multihaz, MRU, GYRO, SVS, y mareógrafo. Las observaciones deben ser corregidas de altura de mareas y variación de la velocidad del sonido.

Los datos producidos por la sonda multihaz deben ser filtrados de ruidos es decir falsos ecos, provocados por bolsas de aire, rebotes sobre la lamina de agua, zonas de rompientes, motores, etc. Estos ruidos oscilan

en un rango de amplitud de onda característica, generalmente distinta a la que tienen las eco-ondas reflejadas por el suelo marino. Entre los más significativos;

- Filtro de amplitud, permite ajustar la mínima y máxima amplitud de onda que queremos registrar, la mayor parte del ruido se elimina con este filtro
- Filtro del casco, elimina el ruido inmediatamente próximo al barco, que aún pueda quedar.
- Filtro de límites, establece un límite en el rango de profundidades y distancia horizontal al casco del barco.
- Filtro de límites móviles, elimina puntos relativamente cercanos al fondo real, es un filtro de tipo manual, definiendo siluetas como límites superiores e inferiores en cada instante.
- Filtro Along/Across track, compara un punto de medida con respecto a sus vecinos anteriores o laterales, despreciando estos, si la diferencia supera una tolerancia.
- Histograma, se definen pequeñas celdas con el número mínimo de puntos de medida que deben contener para ser considerados como validos.

Se aplican estos filtros a cada uno de los perfiles capturados, hay que tener especial cuidado, dado que un mal empleo daría resultados erróneos, especialmente en fondos con orografía compleja o elementos con paredes verticales.

Una vez corregidos y filtrados los datos de batimetría, se obtienen una nube de puntos muy densa, generalmente y dependiendo del objetivo de la batimetría, se generan mallas regulares con una densidad adecuada a tal fin. Casos habituales suelen ser mallas desde 1x1 metros hasta 5x5 metros, para la generación de estas mallas regulares se emplean la media de todos los puntos naturales de la celda, a estos modelos en mallas se les aplican la eliminación de picos, comparando las celdas adyacentes, y se realizan suavizados, generando un modelo de un aspecto más suavizado.

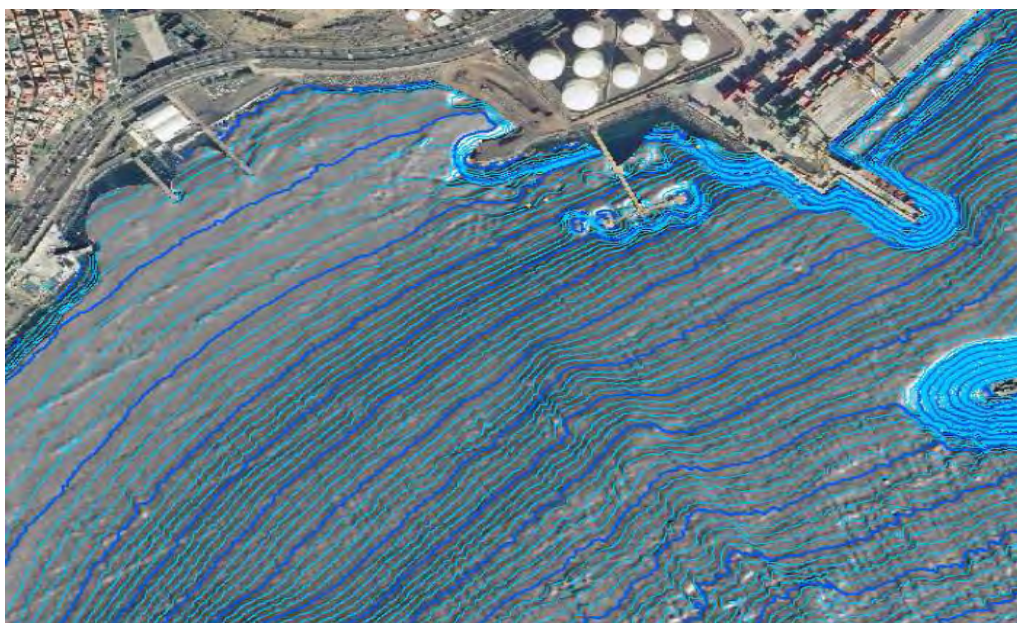


Figura 6. Batimetría, modelo de sombras y curvas de nivel cada metro

MORFOLOGÍA

En la morfología del fondo marino se deben emplear varias fuentes de información, para llegar a una mejor definición, las fuentes habituales son;

- Modelos digitales, analizando sus productos de modelos de sombras y pendientes
- Sonogramas obtenidos por sonda multihaz
- Sonogramas obtenidos por sonar de barrido lateral SSS
- Estudio de la transparencia de fotografías aéreas
- Recogida de muestras
- Inspección con cámara.

Empleando todas estas fuentes de información sobre un SIG, y usando sus herramientas, jugando con los niveles de transparencia y realizando análisis espaciales de distribución de muestras, junto con la experiencia de los operadores, se realiza la interpretación de la definición de la morfología del fondo marino, generando recintos que definen cada uno de los elementos más representativos.



Figura 7. Sonogramas obtenidos con sonda multihaz, donde se aprecian zonas de rocas, arena, amarres de fondo y cadenas.

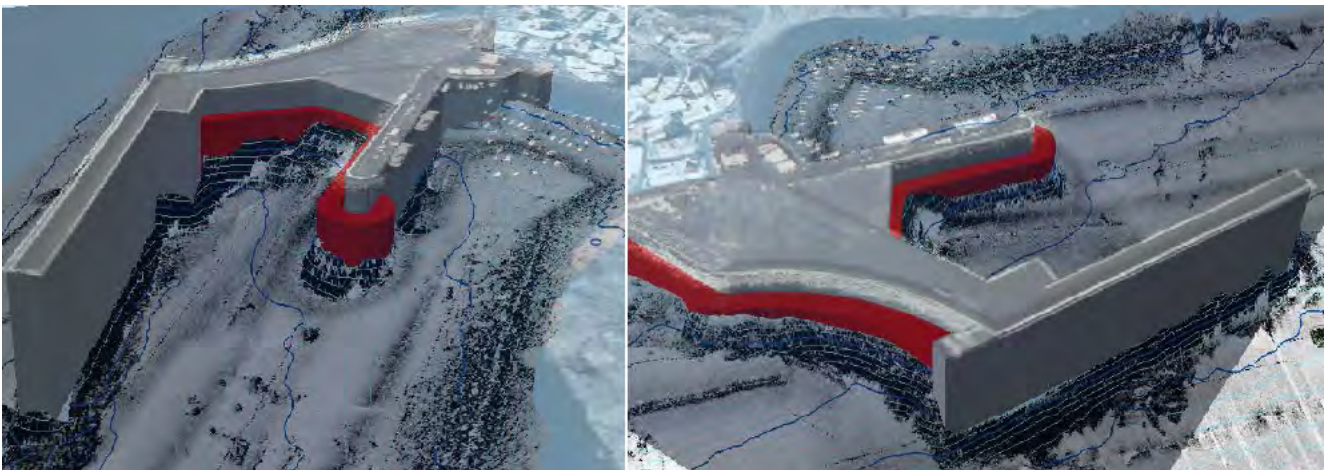


Figura 8. Vista 3D de puerto, donde se ha proyectado el sonograma sobre el modelo digital del terreno

Otra importante fuente de información es la aportada por el sonar de barrido lateral SSS, sobre todo a medida que la profundidad aumenta y la resolución de los datos sonar de la sonda multihaz disminuyen.

El SSS es un sistema de medición transportado en un pez, que es lastrado desde la embarcación mediante un cable de acero con la ayuda de un cabestrante automático. Para la determinación de la posición de sus datos

se emplea la combinación de la posición GPS así como la longitud de cable controlado a partir de una polea contadora conectada al PC.

Este sonar al ir más cercano al fondo marino en profundidades grandes aporta una mejor resolución que la sonda multihaz, pero su empleo es más complejo dado la peligrosidad que supone lastrar el pez y su posición no es tan precisa debido a la deriva del cable.

Los datos de sonar son una fuente más para las interpretaciones de morfología, así como la localización de objetos.

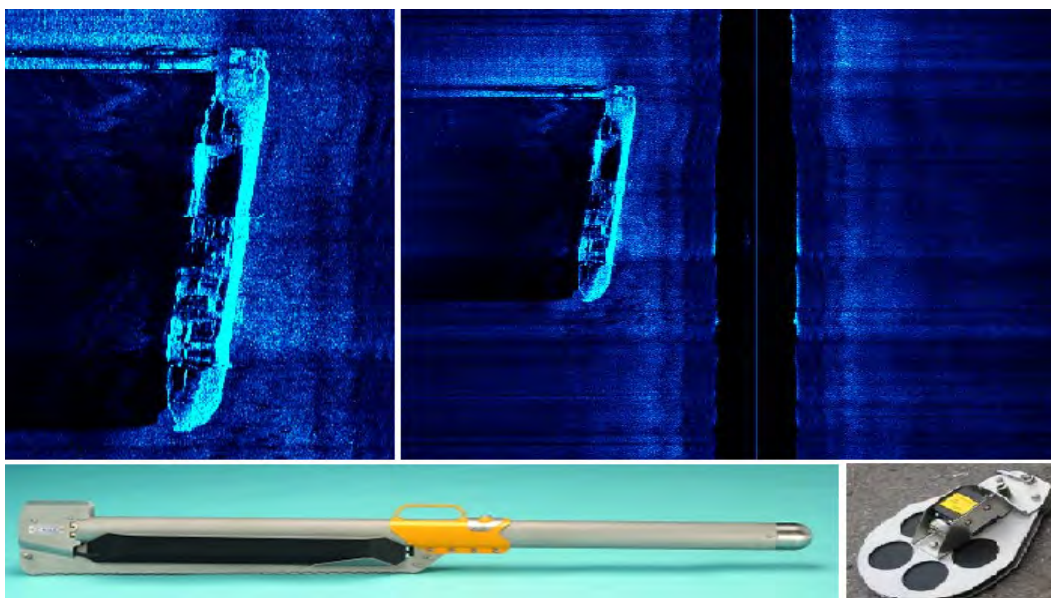


Figura 9. Vista del barco Monte Isabela localizado en La Punta de Gando, imagen capturada por el sonar CM2 en la embarcación Canarias Litoral.

Para poder calibrar los diferentes sectores que conforma la naturaleza del fondo se realizan recogida de muestras selectivas, estas deben ser analizadas en laboratorio para disponer de la granulometría de las mismas. Como una capa más de información se puede emplear sobre SIG generando polígonos de distribución a partir la herramienta localización Euclidiana.



Figura 10. Recogida de muestras

AGRADECIMIENTOS

Consejería de Empleo, Industria y Comercio, Delegación de Costas de Tenerife, Gobierno de Canarias
Área de Puertos, Cabildo de Tenerife, Consejo Insular de Aguas de Tenerife.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Geoacustics, Inc. (2000): Manual de usuario de Geoswath.

CMAX, Inc. (2005): Manual del usuario de CM2.

Iztúriz M., Ana Teresa; Barrientos, Yolanda; Ruíz, Simón y de Bezada, Matilde (2008): Un ludograma para la prevención de riesgos en el Estado Vargas, Venezuela. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 628-634. ISBN: 978-84-96971-53-0.

UN LUDOGRAMA PARA LA PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL ESTADO VARGAS, VENEZUELA

Iztúriz M., Ana Teresa; Barrientos, Yolanda; Ruíz, Simón y de Bezada, Matilde

Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico de Caracas. Departamento de Ciencias de La Tierra. Núcleo de Investigación "Estudios del Medio Físico Venezolano". Caracas, Venezuela. anaizturiz@gmail.com

RESUMEN

Los tópicos complejos, como la prevención de riesgos, pueden ser abordados a través de juegos educativos; ya que estos permiten utilizar estrategias que facilitan el aprendizaje y estimulan el pensamiento crítico, reflexivo y analítico de los participantes. El objetivo de la investigación fue aplicar y evaluar un ludograma didáctico tipo tablero, denominado Salta-riesgos, diseñado a partir del diagnóstico de amenazas naturales y riesgos socionaturales asociados a las cuencas de los ríos torrenciales Piedra Azul y Osorio (Estado Vargas, Venezuela), donde se encuentran localizados algunos centros educativos afectados por el evento hidrometeorológico ocurrido a finales del año 1999.

La investigación se desarrolló como un proyecto factible, mediante un estudio de campo de carácter descriptivo y con un enfoque cuali-cuantitativo. Entre las técnicas empleadas se pueden destacar las siguientes: observación, matrices de diagnóstico, registro fotográfico, notas de campo, listas de cotejo, cartones de texto y encuestas de opinión.

La aplicación de esta estrategia instruccional en otros centros educativos superó los objetivos planteados en la validación en cuanto a los alcances e inventario de riesgos. Esta actividad lúdica promovió la comprensión lectora de los participantes, reforzó la formación de valores, actitudes y aptitudes relacionadas con la educación ambiental, la pro-actividad ante los riesgos dominantes, la cooperación escuela-comunidad y fomentó la cultura preventiva.

Palabras clave: juego instruccional, ludograma, amenazas naturales, riesgos socionaturales, cultura preventiva.

ABSTRACT

The complex topics such as risk prevention can be addressed through educational games, as it is allowed to use these strategies that facilitate learning and encourage critical thinking, analytical and reflective of the participants. The aim of the research was to implement and evaluate a didactic kind ludograma board, called Salta-riesgos, built on the diagnosis of socio natural hazards and risks associated with the rivers and torrential Piedra Azul and Osorio (Vargas State, Venezuela) where are located some educational centres affected by hydrometeorological event occurred at the end of 1999.

The investigation was developed as a project feasible, through a field study of descriptive and a qualitative-quantitative approach. Among the techniques employed can include: observation, diagnostic forms, photographic record, field notes, writing signs and opinion polls.

The implementation of this strategy in other instructional schools exceeded the goals outlined in the validation on the scope and inventory risk. This recreational activity promoted the reading comprehension of the participants, reinforced the formation of values, attitudes and skills related to environmental education, pro-active fashion to threats dominant school-community cooperation and promoted the culture of prevention.

Keywords: instructional game, ludograma, natural hazards, risks socio-culture of prevention.

INTRODUCCIÓN

Las simulaciones y los juegos pueden utilizarse para favorecer el desarrollo integral del individuo mediante la creación de situaciones específicas que motiven hacia las diferentes áreas del saber (Martínez, 1999; Szczu-

rek, 1999). Además, pueden ser aplicados a grupos educativos de diferentes niveles e involucran, de manera directa, al estudiante con la actividad lúdica y, ayudan al docente para abordar temáticas complejas como *educación y gestión de riesgos*. Adicionalmente, Torres (2002) plantea que estos recursos instruccionales permiten la búsqueda de alternativas para el logro de los objetivos curriculares, el respeto hacia los demás, la iniciativa, el sentido común y la solidaridad con todos los participantes involucrados.

A nivel mundial y en Latinoamérica, existen algunas experiencias relacionadas con la utilización de estrategias educativas sobre la temática de reducción de riesgos. (Donato, 1997; EIRD, 2005; Malmold y Balmaceda, 2005; Malmold y Balmaceda, 2006; Arroyo, 2006 y Wisner, 2006).

Por otra parte, el sistema educativo venezolano cuenta con limitados recursos instruccionales (juegos y simulaciones) sobre gestión de riesgos y prevención de desastres, en especial los relacionados con amenazas naturales y eventos socio-naturales (CENAMEC, 1996; Pulido, Batista y Álvarez 1997; Barrientos, Iztúriz, García y Ruíz, 2006; Iztúriz y colaboradores, 2007).

De lo anteriormente expresado, se evidencia que las estrategias instruccionales no son suficientes ni en número ni en especificidad de contenidos relacionadas con la temática de la reducción de riesgos y desastres, ante la vulnerabilidad del país a las amenazas naturales, tecnológicas, biológicas y sociales. Esto debe llevar a la reflexión al sector educativo del país sobre la necesidad de diseñar y aplicar programas y estrategias pedagógicas con énfasis en la identificación de riesgos, preparación y medidas preventivas, con preferencia en los centros educativos más vulnerables.

La historia y el tiempo de recurrencia de los eventos adversos en el país son testimonios de la permanente vulnerabilidad del territorio nacional y su población ante amenazas hidrometeorológicas, geológicas, tecnológicas, biológicas y sociales que necesitan un cambio de referentes; no sólo en cómo reducir los desastres y gestionar los riesgos, sino también en la preparación y educación de la población ante estos mediante el desarrollo de la cultura preventiva, la seguridad y la resiliencia.

Los planteles del Estado Vargas localizados en la región norte-centro de Venezuela, durante el mes de diciembre del año 1999, fueron impactados por lluvias torrenciales que afectaron el sector educativo tanto en la infraestructura física como en el normal desarrollo de las actividades académicas. A partir de esta realidad, un grupo de investigadores de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador–Instituto Pedagógico de Caracas, ha puesto en marcha proyectos pedagógicos dirigidos a la promoción de la cultura preventiva dentro de la comunidad universitaria y en diferentes escuelas situadas en zonas de alta vulnerabilidad, específicamente en las cuencas bajas de los ríos Osorio y Piedra Azul. La vulnerabilidad local multifactorial puede verse reflejada en: Registro histórico de 27 eventos torrenciales desde 1648 hasta el presente, zonas susceptible a actividad sísmica y tsunamis asociada a fallas geológicas, difícil acceso al recinto escolar por la existencia de puentes (coloniales y modernos), ubicación de las escuelas en la zona de inundación a menos de 50 m del cauce de los ríos, erosión y socavamiento en las orillas de los cursos de agua, destrucción del embaulamiento de cauces, colapso de un elevado número de edificaciones y/o viviendas coloniales, incomunicación por derrumbes, daños a las líneas vitales (electricidad, agua, alcantarillado, teléfonos), cableado eléctrico externo, presencia de postes de electricidad con sobrecarga, contaminación acuática del mar y ríos, presencia de alto tráfico aéreo, almacenamiento cercano de productos tóxicos e inflamables (Puerto de La Guaira), carencia de zonas de seguridad y señalización preventiva en la comunidad, vialidad pública con fuertes pendientes y doble circulación frente a las escuelas, detrimento ambiental por la acumulación de desechos sólidos, viviendas abandonadas, deterioro del patrimonio histórico, presencia de animales ponzoñosos en las comunidades y actividad delictiva.

La presente investigación tomó como referente internacional la experiencia educativa del juego instruccional *Riesgolandia* (Organización de Naciones Unidas- UNICEF/EIRD, s/f) dirigido al estudio de las amenazas naturales y los riesgos socio-naturales, así como las medidas preventivas para mitigar el impacto de los eventos adversos y de la vulnerabilidad a nivel local. Recientemente, este juego pasó de ser un tablero de mesa a un tablero gigante tipo mosaico (EIRD, 2007).

El objetivo de este trabajo fue implementar un juego instruccional tipo ludograma SALTARIESGO representativo de la vulnerabilidad ambiental de varios centros educativos ubicados en zonas de alto riesgo en las parroquias La Guaira y Maiquetía del Estado Vargas, Venezuela, en especial las amenazas de naturaleza, hidrometeorológica, geológica y antrópica.

METODOLOGÍA

Las bases teóricas de la investigación se apoyan en el modelo y el enfoque humanista de Maslow (1975), y en el pensamiento complejo y la incertidumbre de Morin (2001). El estudio se insertó por una parte en el paradigma cualitativo- interpretativo, de campo, con carácter descriptivo (Martínez, 1994) y el diseño fundamentado en un estudio de casos. Los métodos y las técnicas de investigación empleados fueron la observación directa y participante, la utilización de matrices y listas de cotejo para el diagnóstico y análisis de las condiciones de riesgo y vulnerabilidad de cada centro educativo; los registros anecdóticos, fotográficos, entrevistas no estructuradas y las encuestas de opinión.

Para el diseño, diagramación y montaje de textos e imágenes del juego *SALTARIESGOS* se utilizaron los programas digitales *Freehand* y *Photoshop*. El tablero del juego presenta en su cara anterior el objetivo, la descripción y las reglas a seguir (Figura 1). El juego consiste de un tablero que contiene 68 casillas de colores las cuales determinan el rol que debe tener el jugador, como sería permanecer, avanzar o retroceder un determinado número de espacios: blancas (para avanzar-sin condición), amarillas (preventivas), rojas (penalización) y azules (estímulo o premio); se requiere de un dado o similar para ir avanzando (Figura 2).

El fondo del tablero sobre el cual se apoyan las casillas, simula las condiciones de vulnerabilidad, presentes en los centros educativos-comunidad estudiados, derivadas de amenazas naturales, riesgos socio-naturales e incluye las medidas preventivas a través de imágenes y mensajes (Figura 2). El ludograma permite la participación individual o grupal (hasta cinco alumnos).



Figura 1. Portada del juego y sus instrucciones

El juego finaliza cuando todos los participantes alcanzan la LLEGADA con el número exacto de casillas por ocupar en el tablero.

Las reglas del juego son:

- Al inicio todos los participantes lanzan el dado y comienza el que obtenga el número mayor o quién selecciona el color de su ficha.
- Cada jugador avanza tantas casillas como lo indique el dado y se mantiene en el turno mientras llegue a las casillas que le permitan continuar, hacia adelante o hacia atrás; luego juega el participante ubicado a su derecha.

- Lea las instrucciones de los mensajes presentes en las casillas para avanzar o retroceder espacios, antes de entregar el dado al siguiente jugador.
- Para alcanzar la casilla de LLEGADA, el participante debe obtener en el dado el número exacto de espacios, de lo contrario se retroceden tantas casillas como lo indique el número obtenido al lanzar el dado.
- El primer participante en lograr alcanzar la casilla de LLEGADA debe esperar a que el resto de los jugadores culmine el recorrido y se declaren todos ganadores.

¡FELICITACIONES !

PRACTICA LO QUE HAS APRENDIDO SOBRE RIESGOS EN TU COMUNIDAD.

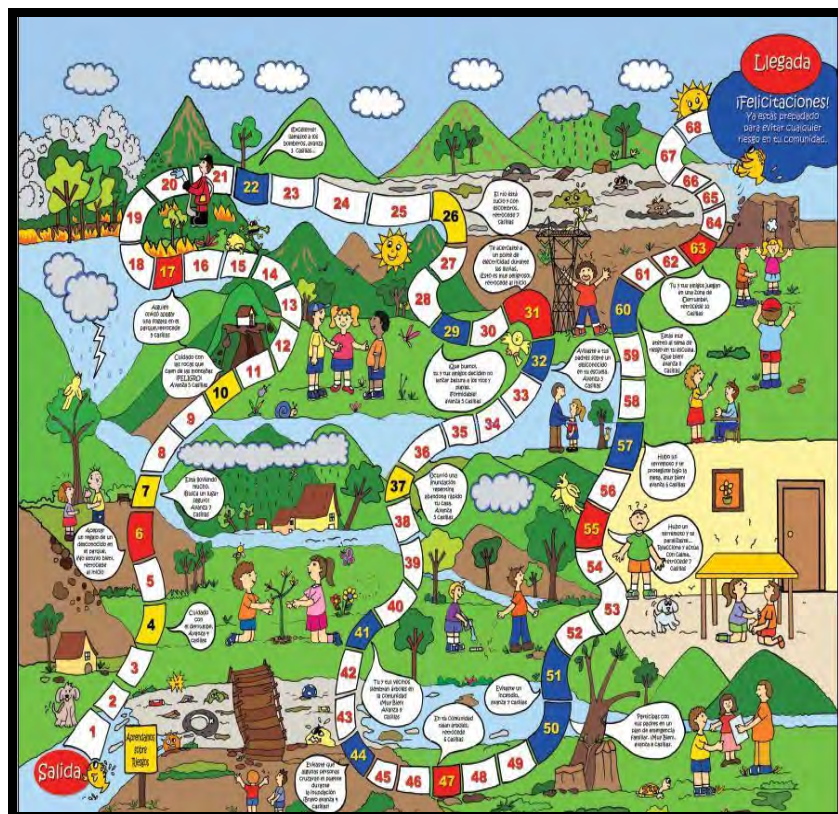


Figura 2. Estructura y componentes del juego SALTARIESGOS

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL JUEGO SALTARIESGO

Para la implementación del juego, se realizó una discusión dirigida con relación a los riesgos dominantes del entorno escolar y comunitario. Posteriormente el grupo de estudiantes se organizó en equipos de cuatro a cinco. Suministradas las instrucciones por parte del facilitador, se dio inicio a la actividad lúdica, la cual se llevó a cabo en una hora. Los participantes mostraron interés, leyeron los llamados, cumpliendo las instrucciones del tablero; hubo armonía en cada uno de los grupos y la actividad culminó con la aplicación de un instrumento para su evaluación (Figura 3).



Figura 3. Fases del trabajo desarrollado en la aplicación del juego SALTARIESGO en los centros educativos seleccionados. Identificación de amenazas y riesgos en la escuela-comunidad (izquierda), desarrollo del juego (centro) y evaluación de la actividad (derecha)

Las respuestas obtenidas del instrumento entregado a los alumnos para la evaluación de la actividad, indicaron que los ítems del 1 al 3 referidos a: el tipo del juego, su nombre y su procedimiento obtuvieron un 100% de aceptación. La pregunta 4 se refería al tiempo de duración del juego, el 83, 3% consideró que era adecuado, pero el 16,7% opinó que “era muy largo”. Los ítems 5, 6 y 7 relacionados con los colores del juego, sus figuras y mensajes, las respuestas obtenidas reflejaron agrado y comprensión de los textos presentes; lo cual indicó un 100% de aceptación. Las preguntas 8 y 9 referidas a deseos de volver a jugar en otra oportunidad y de haber aclarado las dudas, fueron respondidas en un 100% de manera positiva. La pregunta 10, se referiría a si durante el juego se generaron conflictos entre los participantes, fue respondida negativamente en un 100 %. La pregunta 11 consideró cuales aprendizajes sobre riesgos se lograron entre los participantes y las respuestas fueron las siguientes: “hay basura que limpiar; el río esta sucio; hay que cuidarse; debemos estar atentos a los riesgos; hay un área sin árboles; las cestas de la basura están malas y pueden incendiarse”.

Estos resultados no se expresaron en porcentajes pues sólo cinco estudiantes respondieron esta pregunta. Las respuestas reflejan la preocupación de los estudiantes por la seguridad escolar, la contaminación de los ríos, la acumulación de desechos sólidos, las zonas deforestadas y las probabilidades de incendio en los centros educativos o en la comunidad.

La pregunta 12 planteaba la sugerencia de cambios en los contenidos del juego, en este caso solo fue respondida por el 25% del grupo, con los siguientes comentarios: “muchas cosas; muchas más; no hay que echar basura en la calle”. Los comentarios finales de los participantes indicaron desagrado con las casillas rojas de penalización (seis en total) que ordenaban retroceder espacios en el tablero.

La estrategia pedagógica e instruccional aplicada permitió el logro de los objetivos propuestos, traducida en aprendizajes sobre identificación de riesgos y medidas preventivas (Barrientos, Iztúriz, García y Ruíz, 2006). Igualmente los participantes desarrollaron procesos cognitivos básicos como observación, comparación, memorización, manejo de instrucciones, la integración de la teoría y la práctica sobre la temática de los riesgos socio-naturales y la cultura preventiva con las áreas de lenguaje, ciencias de la naturaleza y tecnología, matemática y educación física con los ejes transversales ambiente y valores presentes en el Currículo Básico Nacional (Ministerio de Educación, 1998).

CONCLUSIONES

- La estrategia didáctica implementada fue una forma de aprender jugando sobre reducción de riesgos.

- A través de la actividad lúdica se estimuló el aprendizaje de nuevos códigos de comunicación, razonamiento lógico y se destacó la complejidad de los riesgos socio-naturales y la educación ambiental.
- Los alumnos reforzaron valores relacionados con la participación, colaboración, comunicación y conservación de la vida.
- Se fomentó la cooperación comunidad-escuela, la cultura preventiva y se reforzó la formación de actitudes y aptitudes relacionadas con la pro-actividad ante los riesgos predominantes en la región.
- La propuesta didáctica representó una herramienta útil para tratar los contenidos contemplados en Currículo Básico Nacional sobre educación, gestión de riesgos y prevención de desastres.

RECOMENDACIONES

- La estrategia didáctica debe ser aplicada a grupos relativamente pequeños de estudiantes (12 a 15 alumnos por aula); tomando en consideración la comprensión lectora y el diseño curricular específico (el nivel, ejes curriculares y contenidos programáticos).
- El docente debe fomentar la aplicación de este tipo de estrategia educativa para sensibilizar a los alumnos en el abordaje de aprendizajes complejos como es el caso de la gestión de riesgos.

REFERENCIAS

Arroyo, R. (2006): ¡Mira como tiemblo! *EIRD Informa*, 13: 70.

Barrientos, Y., Iztúriz, A., García, A., y Ruiz, S. (2006): Instructional and methodological strategies for learning about natural hazards and socio-natural risks at about elementary school at Vargas state, Venezuela. *International Disaster Reduction Conference*, Davos, pp. 696-697.

Centro Nacional para el Mejoramiento de la Enseñanza de la Ciencia (CENAMEC) (1996): *Rompecabezas de placas tectónicas*. Colsum, Caracas.

Donato, F. (1997): *Biopasatiempo. Sopa de letras: Desastres*. Biocenosis. UNED (Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica).

Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (2007): Así se está celebrando la campaña 2006-2007 en las Américas. *EIRD Informa*, 14: 7-9.

Iztúriz, A., Tineo, A., Barrientos, Y., Pinzón, R., Ruíz, S., Montilla, J., Leardi, M. y Barreto J. (2007): El juego instruccional como estrategia de aprendizaje sobre riesgos socio-naturales. *Revista Educere*, 11 (36): 103-112.

Ministerio de Educación. (1998): *Currículo Básico Nacional. Programa de estudio de Educación Básica. Séptimo grado*, Editorial Nuevas Ideas, Caracas.

Malmold, A. y Balmaceda, M. (2005): *La Universidad y la formación para la construcción de planes de contingencia. 1^{er} Encuentro Internacional / 2^{do} Encuentro Nacional "Educación Superior y Riesgo". Habitat y Riesgo: El rol de las universidades*. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

- Malmold, A. y Balmaceda, M. (2006): La multimedia ¡Alerta SISMO II!- Plan de Emergencia Familiar. *EIRD Informa*, 13: 71.
- Martínez, M. (1994): *La investigación cualitativa etnográfica en educación*. Editorial Trillas, México.
- Maslow, A. (1975): *Motivación y personalidad*. Editorial Sagitario, Barcelona.
- Morin, E. (2001): *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Ediciones Nueva Visión, Buenos Aires.
- Organización de Naciones Unidas-UNICEF/EIRD (s/f): *Aprendamos a prevenir los desastres. Riesgolandia. Juegos y proyectos*. Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo. San José de Costa Rica.
- Pulido, M., Batista, L. y Alvarez, A. (1997): *Juegos ecológicos en el aula*. Fundambiente, Caracas.
- Reducción de desastres en América Latina y el Caribe (2005): *¿Cómo prevenir incendios forestales? Aprendamos jugando*. *EIRD*, 8: 59.
- Szczurek, M. (1999): *Simulaciones y juegos Instruccionales. Un hipertexto*. Trabajo de ascenso, inédito. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Caracas.
- Torres, C. (2002): El Juego: Una estrategia importante, *Revista Educere*, 19: 289-296.
- Wisner, B. (2006): *Let our children teach us! A review of the role of education and knowledge in disaster risk reduction*. Books for Change, India.

Marco Molina, Juan Antonio; Giménez Font, Pablo; Padilla Blanco, Ascensión y Sánchez Pardo, Ángel (MEDSPA) (2008): Aplicaciones de las tecnologías SIG y GPS en la dinámica de poblaciones de flora amenazada: *Helianthemum caput-felis* Boiss. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 635-649. ISBN: 978-84-96971-53-0.

APLICACIONES DE LAS TECNOLOGÍAS SIG Y GPS EN LA DINÁMICA DE POBLACIONES DE FLORA AMENAZADA: *HELIANTHEMUM CAPUT-FELIS* BOISS

Marco Molina, Juan Antonio; Giménez Font, Pablo; Padilla Blanco, Ascensión y Sánchez Pardo, Ángel¹ (MEDSPA)²

- (1) Universidad de Alicante, Dpto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, ja.marco@ua.es, pablo.gimenez@ua.es, ma.padilla@ua.es, a.sanchez@ua.es
- (2) Grupo de investigación sobre Medio, Sociedad y Paisaje, Área de Geografía Física del Dpto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física-Laboratorio de Biogeografía del Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante

RESUMEN

Se muestra un ejemplo de aplicación combinada de las técnicas SIG y GPS para el seguimiento de especies vegetales de flora catalogada como rara, endémica o amenazada: Helianthemum caput-felis Boiss. La localización georreferenciada de todas sus poblaciones y la base de datos generada permiten la elaboración de una cartografía de detalle muy útil para conocer las condiciones óptimas para su desarrollo, sus principales amenazas, así como para realizar el seguimiento de la dinámica de estas poblaciones, ya que a través del análisis espacial se puede preveer qué áreas desaparecerán si se ejecuta el planeamiento urbanístico vigente y, por lo tanto, tomar las medidas oportunas desde el organismo oficial competente. Esta cartografía a escala de detalle se convierte en una información de base y de consulta fácil de integrar en los proyectos de desarrollo del planeamiento.

Palabras Clave: flora amenazada, SIG, GPS, cartografía.

ABSTRACT

There appears an example of application combined of the technologies SIG and GPS for the follow-up of vegetable species of flora catalogued like rare, endemic or threatened: Helianthemum caput-felis Boiss. The georeferenced location of all its populations and the generated database they allow the production of a cartography of very useful detail to know the ideal conditions for its development, its principal threats, as well as to realize the follow-up of the dynamics of these populations, since across the spatial analysis it is possible preveer what areas they will eliminate if there is executed the urban development in force planning and, therefore, take the opportune measurements from the official competent organism. This cartography to scale of detail turns into an information of base and of consultation easy to integrate in the projects of development of the planning.

Key Words: threatened flora, GIS, GPS, cartography.

INTRODUCCIÓN

La riqueza florística de la Comunidad Valenciana está justificada por su localización biogeográfica, así como por unas condiciones climáticas particulares, la diversidad litológica, la disposición y estructura del relieve, la configuración de su red hidrográfica y la existencia de toda una serie de espacios húmedos. Todos estos rasgos físicos explican a su vez el elevado número de endemismos vegetales cuyas áreas de distribución son en su mayoría roquedos, acantilados, matorrales xéricos y terrenos baldíos. Constituyen formaciones arbustivas de escaso porte, de tipo camefítico, por lo que reciben una valoración perceptiva baja en la mayoría de las ocasiones y por lo tanto, han sido calificados, en muchas ocasiones, como terrenos urbanizables. En el caso de los

acantilados, se une su proximidad al mar lo que los convierte en espacios codiciados por las constructoras. Por lo tanto, son especies claramente amenazadas, aunque algunas de ellas no reúnan el calificativo de raras o de endémicas (Padilla 2002).

En este trabajo se pretende elaborar una cartografía corológica detallada de una de esas especies vegetales: *Helianthemum caput-felis* Boiss. (“jarilla cabeza de gato”) con el fin de que sea integrada en los proyectos de desarrollo de planeamiento. A partir de esta documentación básica se presenta el área de distribución de dicha especie, es decir, su situación actual; así como los procesos urbanísticos que le han podido afectar y los que le afectarán en un futuro si se ejecuta el planeamiento vigente. Para ello, se ha escogido el tramo litoral alicantino comprendido entre Punta Prima y Punta de la Glea.

La motivación que explica la elección de esta especie vegetal radica en su área de distribución y en su catalogación como vulnerable según criterios de la UICN. Con respecto a la primera justificación, se trata de una cistácea característica del Mediterráneo occidental y localizada en la costa oriental de la península ibérica (litoral septentrional y meridional de la provincia de Alicante), Baleares, Cerdeña, Italia, Argelia y Marruecos; por lo tanto, no se trata de un microendemismo. Sin embargo, estas poblaciones se ciñen a sectores litorales; de ahí su catalogación de vulnerable. Estos espacios en todo el Mediterráneo sufren una elevada presión urbanística, por lo que esta especie, junto a otras, ven reducida su área de distribución y por lo tanto, están abocadas a la extinción de no llevar a cabo alguna medida de control y protección.

El caso de *Helianthemum caput-felis* Boiss. es particular en el sentido de que ha sido objeto de protección a nivel europeo y estatal, por lo que existe un vasto cuerpo legal que le ampara y, de este modo, resultaría más sencillo llevar a cabo cualquier modificación de planeamiento o de actuación urbanística como se verá en el desarrollo de este trabajo. La primera constancia legal se tiene en 1985 con la orden 20 de diciembre dictada por la Conselleria de Agricultura y Pesca de la Generalitat Valenciana (DOGV nº 336) por la que se prohíbe su recolección salvo con fines científicos, educativos o conservacionistas. Posteriormente, forma parte del listado de flora en el acuerdo del Convenio de Berna sobre la conservación de la vida silvestre europea (1986) y en la Directiva de Hábitats de la Unión Europea (DOCE nº L 206 de 22 de julio de 1992) por la que se obliga a los estados miembros a crear espacios protegidos en los que esté representados los mencionados hábitats. Por este motivo, en la Comunidad Valenciana se crean las microrreservas vegetales, figura legal de protección pionera a nivel estatal. En la actualidad, *Helianthemum caput-felis* Boiss. justifica la existencia de la microrreserva de la Rambla de las Estacas, localizada en el área de estudio de este trabajo; con la particularidad que su población ha pasado de varias decenas de ejemplares a tan sólo uno debido a la gran presión urbanística y turística al que está sometido este sector. También relacionado con la Directiva de Hábitats, se encuentra la declaración de Lugares de Interés Comunitario (LICs). Parte de la zona estudiada en este trabajo está incluida en tres: Sierra de Escalona y Dehesa de Campoamor donde se incluyen algunas de las poblaciones de *Helianthemum caput-felis* Boiss.; Rambla de las Estacas que coincide con la microrreserva aludida anteriormente; y Cabo Roig, que fundamentalmente abarca espacio marítimo, ya que el terrestre correspondería al de una microrreserva denominada con el mismo topónimo, que nunca pasó de ser una propuesta (Marco, 2005: 50). Por otra parte, *Helianthemum caput-felis* Boiss. está catalogada como “rara” en las claves de flora y como vulnerable en la propuesta de Lista Roja de la Flora Vasculosa de la Comunidad Valenciana, en la Lista Roja de la Flora Vasculosa Española (Laguna *et al.*, 1998: 371) y en el *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vasculosa Amenazada de España* (Bañares *et al.*, eds., 2004: 1040).

ZONA DE ESTUDIO

Como ya se ha indicado anteriormente, la zona de estudio se incluye dentro del área de distribución de *Helianthemum caput-felis* Boiss. en el litoral meridional de la provincia de Alicante que, a su vez, se trata de su localización más occidental y meridional. Se desarrolla entre Cabo Cervera y la Torre de la Horadada, aproximadamente unos doce kilómetros de costa, que comprenden los términos municipales de Torrevieja, Orihuela y Pilar de la Horadada, aunque el estudio se ha ceñido al tramo comprendido entre Punta Prima y la Punta de la Glea (Orihuela) (figura 1). Las condiciones ambientales que favorecen la existencia de esta especie vegetal son de carácter climático (termofilia) y litológico (substrato calcáreo y pedregoso). Concretamente, se trata de una costa acantilada media caracterizada por una costra calcárea de algo más de un metro de espesor que recubre

limos y arcillas rojas. Tanto en esta repisa como en los taludes de material más deleznable, aparece esta cistácea que, en ocasiones, se introduce hasta dos kilómetros hacia el interior formando parte del dominio de los tomillares termófilos, en los que llega a ser incluso muy abundante y dominante.

Por lo tanto, el área de distribución potencial de *Helianthemum caput-felis* Boiss. debió de ser mucho más amplia que la actual. Estas poblaciones han sido fuertemente diezmadas por el desarrollo urbano turístico, quedando en la actualidad en este sector un único retazo libre de edificación: entre Punta Prima y la Cala de la Mosca, en el que, sin embargo, está prevista la ejecución de una urbanización programada ya en la revisión del PGOU de Orihuela en 1990 y tramitada desde 1995 en el Ayuntamiento tras la aprobación del Plan Parcial; de hecho, las obras se iniciaron el 23 de marzo de 2007.

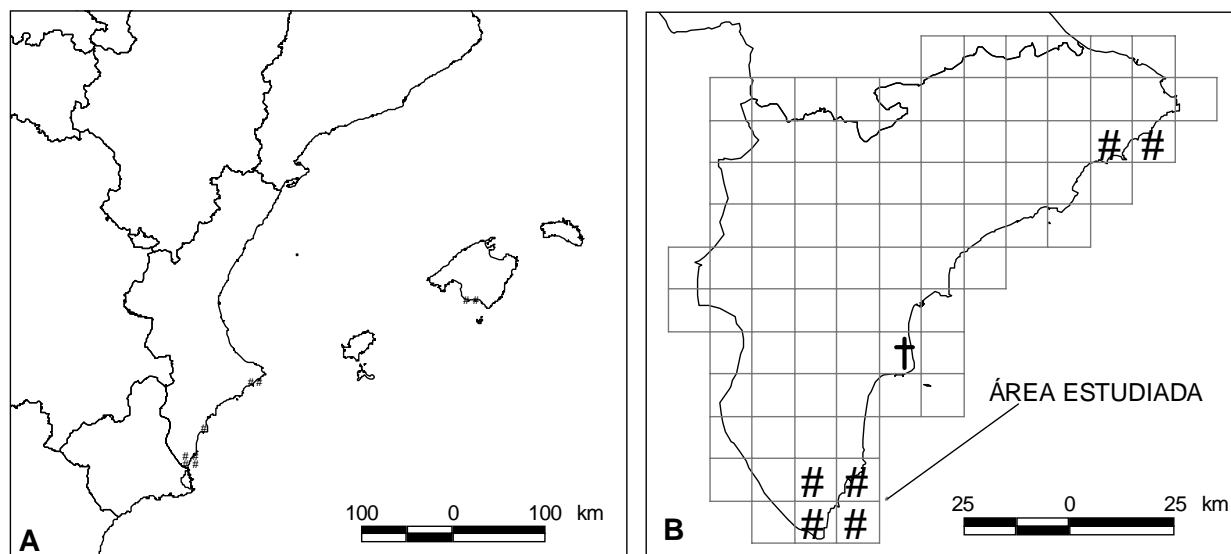


Figura 1. Distribución de *H. caput-felis* Boiss. A: en España (modificado de Mateo y Soler, 1994 y Domínguez *et al.* 1994) y en la provincia de Alicante (modificado de Serra, *et al.*, 2000)

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

La presente comunicación tiene como objeto de estudio ensayar una metodología que permita cartografiar y cuantificar el área de distribución de *Helianthemum caput-felis* Boiss. a partir de los *Criterios de la Lista Roja de la UICN* (Standards, 2006). La información obtenida, debidamente tratada en un SIG, permitirá ofrecer una previsión de reducción del área de ocupación de la planta ante el escenario de cambios de uso proyectado por el planeamiento. Siguiendo las directrices de la UICN, el área de ocupación, definida como “el área más pequeña esencial para la supervivencia de las poblaciones existentes de un taxón” (UICN, 2001:13), se ha calculado a escala de individuo-conjunto de individuos y en relación con la actividad urbanística, principal amenaza de la planta.

En su mayor parte, el origen de la información utilizada lo constituye la toma de datos *in situ* mediante un recolector de datos GPS. En las jornadas de campo se procedió a señalar los ejemplares mediante varillas, lo que permitió determinar sobre el terreno la densidad y continuidad de la población y decidir de qué modo iban a ser registradas las posiciones con el GPS (Marco *et al.*, 2006b: 174-175). De esta forma, si el resultado era un conjunto disperso, se procedía a tomar los datos ejemplar a ejemplar. Si por el contrario se apreciaba densidad y agrupación suficiente de ejemplares como para conformar un polígono, se definía su perfil y se procedía a tomar el perímetro y contar el número de ejemplares presentes.

En ocasiones, la ortofotografía digital a escala 1:5.000 (serie ODCV05) del Instituto Cartográfico Valenciano (vuelos de 2002 y 2005) ha sido empleada como información complementaria de apoyo en la digitalización de determinados polígonos. Asimismo, y por las posibilidades de trabajo que brinda esta escala, ha sido utilizada en otros procesos tales como la preparación de salidas de campo y elaboración de cartografía de apoyo, previa impresión, de la zona a cubrir durante la jornada y, lógicamente, en la elaboración del mapa de usos del suelo.

Durante las campañas de toma de datos en el campo se pueden diferenciar tres etapas en relación con la precisión en los resultados debido a los continuos avances en los productos y tecnología GPS, hemos de significar tres etapas. La primera correspondería a instrumental de tipo submétrico (modelo GeoXT de *Trimble*)¹, y correcciones diferenciales en posproceso con la estación *SOPAC Ebro* ubicada en Roquetes (Tarragona), con el que se obtuvieron registros con errores estimados inferiores al metro (en torno a 30-60 cm de media en precisión horizontal). En una segunda etapa, y tras la puesta en funcionamiento de la red ERVA² (Estaciones de Referencia de Valencia) del Instituto Cartográfico Valenciano (ICV), se pasó a realizar la corrección diferencial con los datos proporcionados por la estación ubicada en el vecino municipio de Torreveija y perteneciente a la citada red, observándose un ligero incremento en la precisión obtenida. Por último, ha sido empleado el modelo GeoXH, de la misma marca que el anterior. Se trata de un colector de datos de tipo *subpie*, con una precisión horizontal inferior a 30 cm. El modelo incorpora algunas novedades, como la indicación de “precisión de posprocesamiento predicha” (PPA)³ que es calculada y presentada en la pantalla del receptor de forma constante durante la toma de posiciones para asegurar los requisitos de precisión. Otra novedad se relaciona con el proceso de corrección diferencial. Para obtener resultados óptimos, la casa recomienda el empleo de datos de 3 estaciones de referencia bien distribuidas geográficamente, a una distancia no superior a 120 km, y con un buen índice de integridad; si bien hemos comprobado que es posible obtener buenos resultados utilizando una única estación de referencia fiable que esté próxima a la zona de captura de datos. La precisión media estimada, tomando como estación de referencia la de Torreveija, situada a una distancia inferior a 10 km a toda el área de estudio, se cifra en un 95% de registros por debajo del rango de los 30 cm, de los cuales entorno al 60% lo son inferiores a 15 cm.

Como *software* específico se utilizó *Terrasync*, empleado para la captura, actualización y gestión de datos en las unidades GPS de campo; y *Pathfinder Office* para los procesos de corrección diferencial, planificación de salidas de campo, preparación de archivos de fondo y exportación de resultados a formato SIG.

El tratamiento y análisis de la información recogida fue llevado a cabo en aplicaciones SIG de tipo vectorial (ArcView.3x /ArcGis 9.x). Para obtener las capas de polígonos se han seguido tres métodos. El primero consiste en considerar los polígonos registrados con GPS tal y como fueron tomados en el campo. El segundo parte de buscar agrupaciones en la capa de puntos y generar una nueva capa de polígonos a partir de ellos mediante la digitalización de su perímetro, tras descartar otras opciones⁴. Por último, para cuantificar el área de aquellos ejemplares que habían quedado aislados en el proceso geométrico anterior, se generó una nueva capa con un área de influencia (*buffer*) estimada de 0'75 m, correspondiente al tamaño medio de los mayores ejemplares observados en la zona (figura 2).

¹ El modelo GeoXT de la serie GeoExplorer 2005 de *Trimble* trabaja con *Windows Mobile* como sistema operativo, lo que permite cierta flexibilidad en la elección del *software*, aunque el empleado es *Terrasync*. Se trata de un GPS de precisión submétrica de 12 canales y con EGNOS/WAAS integrado lo que permite conocer posiciones en tiempo real. Para determinados registros se emplea una antena externa para captación de señales, por ejemplo desde un vehículo en movimiento. Dispone de 64 Mb de Ram y disco interno de 512 Mb, incorporando una ranura para tarjeta SD lo que incrementa notablemente su capacidad de almacenamiento de datos.

² La red ERVA está compuesta por estaciones de referencia distribuidas por la geografía valenciana que sirven datos de corrección GPS tanto en tiempo real como para su utilización en posproceso, ambos de forma gratuita. El formato de publicación de ficheros es RINEX compacto comprimido con épocas de registro de 1, 5 y 30 segundos.

³ Predice la precisión que se va a lograr tras la corrección diferencial. Consiste en un valor del error medio cuadrático horizontal (HRMS) y requiere unos tiempos mínimos de enganche continuo con un determinado número de satélites.

⁴ Se utilizó y descartó, para la actual fase de trabajo, la aplicación *Convex hull* (v.1.24) para ArcView 3.x. La herramienta genera polígonos convexos mínimos alrededor de un grupo de puntos. El polígono generado representa el área mínima posible contenida en dichos puntos. La agrupación de puntos puede ser llevada a cabo bien mediante selección o bien mediante un valor atributo común. Si bien los resultados geométricos de la herramienta resultaban satisfactorios no fue considerada adecuada para el propósito del trabajo como más adelante se señala.

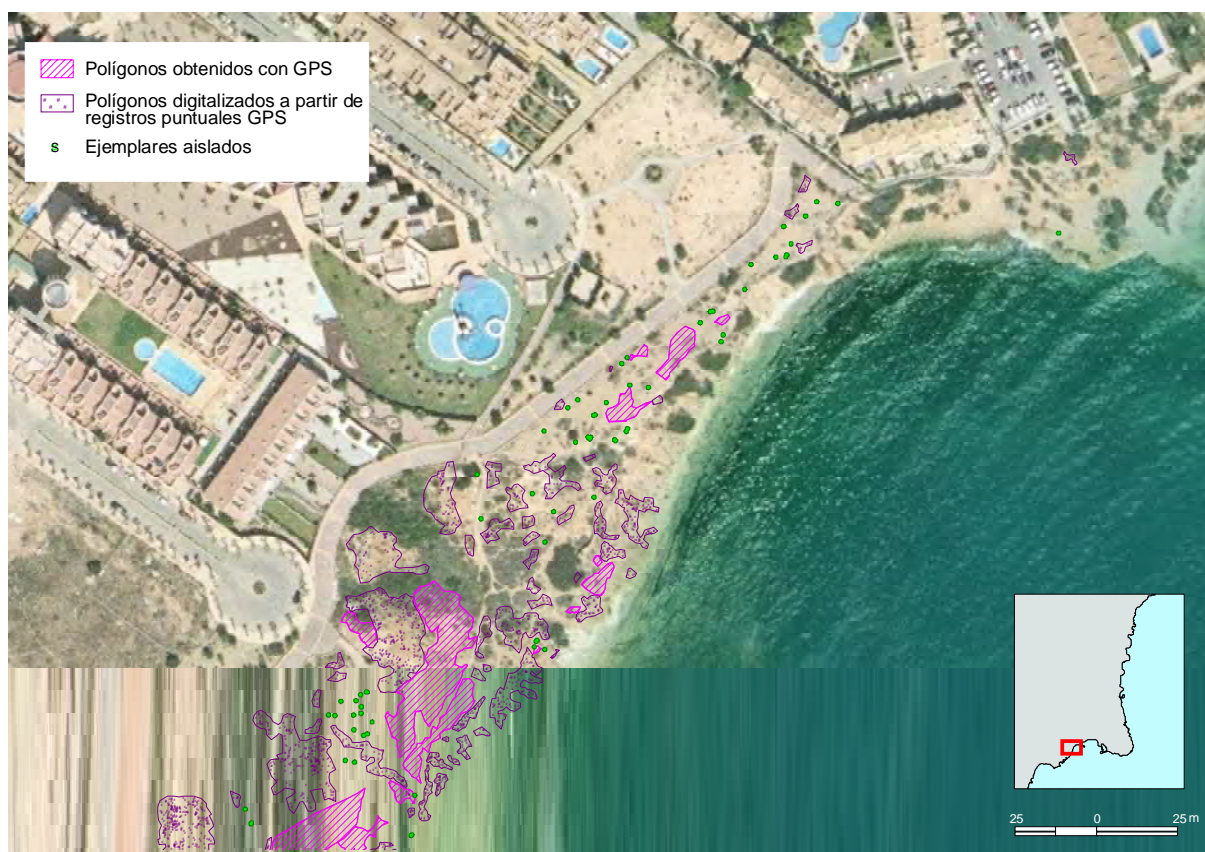


Figura 2. Detalle de los tres modos utilizados para la representación del área de ocupación mediante sistema de manchas

Con ello se obtiene una única capa poligonal con la información espacial de la población que puede ser cuantificada tanto en su superficie como en número de individuos. De esta forma, se posibilita el análisis espacial entre estos datos y la cobertura de usos del suelo. Para ello, se ha elaborado un mapa de usos del suelo del sector analizado a partir de la fotointerpretación de los fotogramas aéreos de 1984 (Generalitat Valenciana) y de las ortofotografías digitales de 2002 y 2005 (ICV), identificando 16 categorías de carácter seminatural y antropogénico. Así mismo, se ha cruzado esta información con la subdivisión en cuadrículas UTM de 100 m de lado.

RESULTADOS

Área de ocupación

Como se ha indicado, nuestro propósito ha sido elaborar el área de distribución de la especie objeto de estudio con gran detalle, siempre bajo la premisa de que cabe equiparar, desde un punto de vista escalar, la información ambiental a la información urbanística. No obstante, el cálculo del área de ocupación de una especie es, aún bajo los criterios de UICN, una cuestión abierta.

En aportaciones recientes, como la del *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vasculare y Amenazada de España* (Bañares *et al.* 2007), se indica que los sistemas utilizados para el cálculo del área de ocupación de especies catalogadas como vulnerables han sido tres: medida mediante cuarteles, medida mediante el polígono convexo mínimo hasta 5 km² o, en el caso de ser mayor, estimada. En este ejemplo, nuestra propuesta para dicho cálculo se asemeja al citado en segundo lugar, aunque es de carácter más restrictivo puesto que no se lleva a cabo una generalización de los datos obtenidos en el campo mediante GPS, ni se ha estimado lícito utilizar herramientas

como *Convex hull* para conseguir polígonos convexos mínimos; es decir, que se ha respetado el perímetro irregular resultante. Esta decisión se apoya en el hecho de que la generalización supondría incluir superficies no ocupadas por la planta, y otras en las que ésta ni siquiera es viable (edificios, infraestructuras...). Son, pues, manchas en las que en mayor o menor densidad está presente la jarilla cabeza de gato. De este modo, los resultados obtenidos a partir de la aplicación de este sistema ofrecen un área de ocupación para *Helianthemum caput-felis* Boiss. de 41.504,5 m². Dato que podríamos identificar como “área de ocupación estricta” en la que prevalece la cuantificación y en la que ha intervenido mínimamente la estimación (figuras 3 y 4).



Figura 3. Ejemplo del “área de ocupación estricta” mediante sistema de manchas de *Helianthemum caput-felis* Boiss.

Por sí mismo es un resultado del que, sin un punto de comparación, no se puede resaltar ni su significado, ni su valor en posibles tareas de recatalogación de algunas Categorías UICN. Estas circunstancias nos conducen a plantear un contrapunto más acorde con los sistemas que se vienen utilizando para el cálculo del área de ocupación de un taxón.

El sistema que puede servir de comparación es el que utiliza subdivisiones de las cuadrículas UTM para estimar el área de ocupación. Para ello se ha utilizado una capa vectorial en la que cada polígono es una cuadrícula

de 100 m de lado (1 ha) de las coordenadas UTM. Ha bastado cruzar la capa de manchas con las de las cuadrículas para obtener el número de éstas en las que está presente *Helianthemum caput-felis* Boiss., es decir, para calcular el área de ocupación de dicha especie en el área de estudio. El dato resultante es de 126 cuadrículas (126 ha), que equivalen a 1.260.000 m² (figura 4). Cifra algo más de treinta veces mayor a la alcanzada con el sistema que proponemos, en un claro sobredimensionado del área de ocupación.

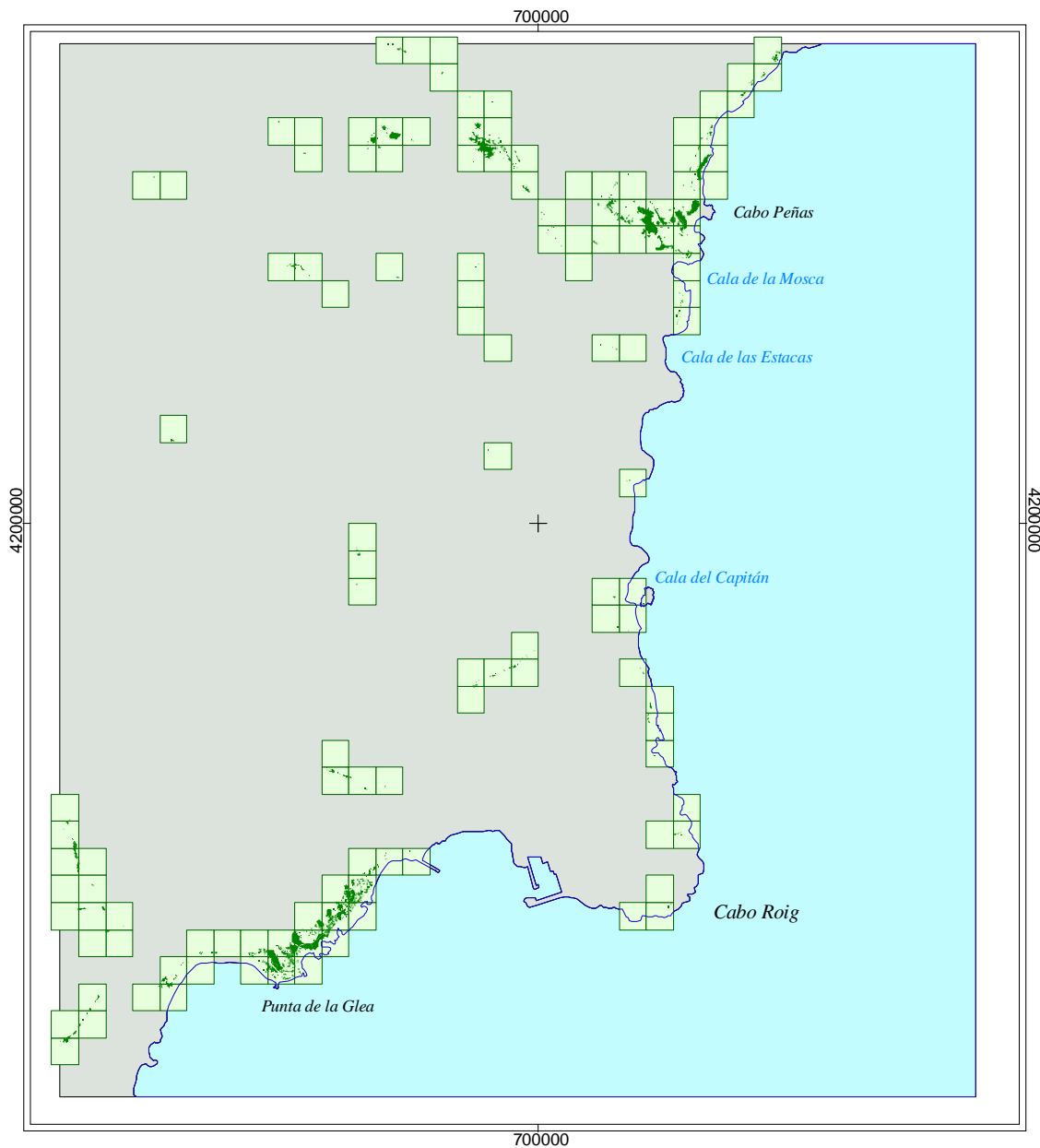


Figura 4. Área de ocupación de *Helianthemum caput-felis* Boiss. a partir de registros GPS (manchas en verde oscuro) y su derivación en CUTM de 100 m de lado (verde claro)

Usos del suelo y coberturas de la vegetación

Además de obtener la superficie actual ocupada por *Helianthemum caput-felis* Boiss. en el sector comprendido entre Punta Prima y Punta de la Glea, es interesante conocer cómo se verá afectada esta población en un futuro tras la ejecución del planeamiento vigente. Por este motivo, se ha realizado la fotointerpretación de la ortofoto de 2005 con el fin de obtener una capa en la que queden reflejados los usos del suelo. Las categorías se han agrupado según su carácter seminatural o antropogénico (figura 5).

Dentro del primer tipo, hemos distinguido:

- las formaciones geomorfológicas costeras, diferenciando entre erosivas (“costa acantilada y rocosa”) y las de acumulación (“playas”) y de fondo de barrancos o ramblas (“lechos de cantos”)
- y las coberturas vegetales que han sido denominadas siguiendo un criterio fisonómico (morfología y densidad), quedando del siguiente modo:
 - “formaciones arbóreas y arbustivas cerradas”, constituidas fundamentalmente por pinares y maquias;
 - “formaciones arbustivas abiertas”, con profusión de especies nitrófilas junto a otras características de matorrales heliófilos;
 - “formaciones arbustivas costeras abiertas”, que además de los táxones anteriores se incluyen los propios de medios próximos al litoral, destacando *Lycium intricatum*, *Asteriscus maritimus*, alguna *Salsola* sp., *Limonium* sp.);
 - “formaciones arbustivas costeras abiertas muy degradadas”, prácticamente la misma composición vegetal que la unidad anterior pero con un elevado trasiego de personas, animales y tráfico que acceden a las playas y, por lo tanto, pisotean toda la flora;
 - “vegetación riparia” que, por su carácter de ecótopo singular, no le ha sido aplicado el criterio fisonómico en la denominación. Su localización se reduce a un tramo de la Rambla de las Estacas colonizado fundamentalmente por carrizo (*Phragmites australis*) y algún taray (*Tamarix* sp.)

En las categorías relacionadas con el desarrollo de las actividades humanas, se han diferenciado:

- las “antiguas zonas agrícolas”, en la actualidad están ocupadas fundamentalmente por un herbazal nitrófilo. Este tipo de aprovechamiento ha modificado las características y propiedades edáficas, de manera que predominan especies nitrófilas, arvenses y ruderales; de ahí que, para su denominación, se haya optado por utilizar dicho aprovechamiento pasado y de este modo destacar la influencia que ha tenido la intervención humana en estos sectores;
- las “infraestructuras principales”, se ha considerado exclusivamente la red de carreteras de elevada densidad de tráfico: autopista, carretera nacional y autonómica;
- los “intersticios”, se corresponden con los solares o sectores que están clasificados como urbanizables y que por lo tanto, de estar presente *Helianthemum caput-felis* Boiss., su edificación y correspondiente supresión de la planta se traducirá en una merma de la población;
- “movimientos de tierra”, sectores en los que ha entrado maquinaria para comenzar la edificación, pero en los que todavía se puede encontrar algún ejemplar de *Helianthemum caput-felis* Boiss.;
- “sectores en fase de construcción”, son aquellos en los que ya se han comenzado las obras;
- “zona urbanizada anterior a 1984”, “zona urbanizada entre 1984 y 2003” y “zona urbanizada después de 2003”, se corresponden con espacios ya consolidados y edificados. La diferenciación temporal se fundamenta en la consulta de distintos fotogramas y ortoimágenes y se traduce en una hipótesis: a mayor antigüedad de la urbanización es posible la aparición de ejemplares de *Helianthemum caput-felis* Boiss. Por otra parte, de existir en la actualidad alguna población de esta especie, podríamos realizar una visión retrospectiva de esos espacios antes de que fueran edificados para reconstruir su área potencial de distribución.

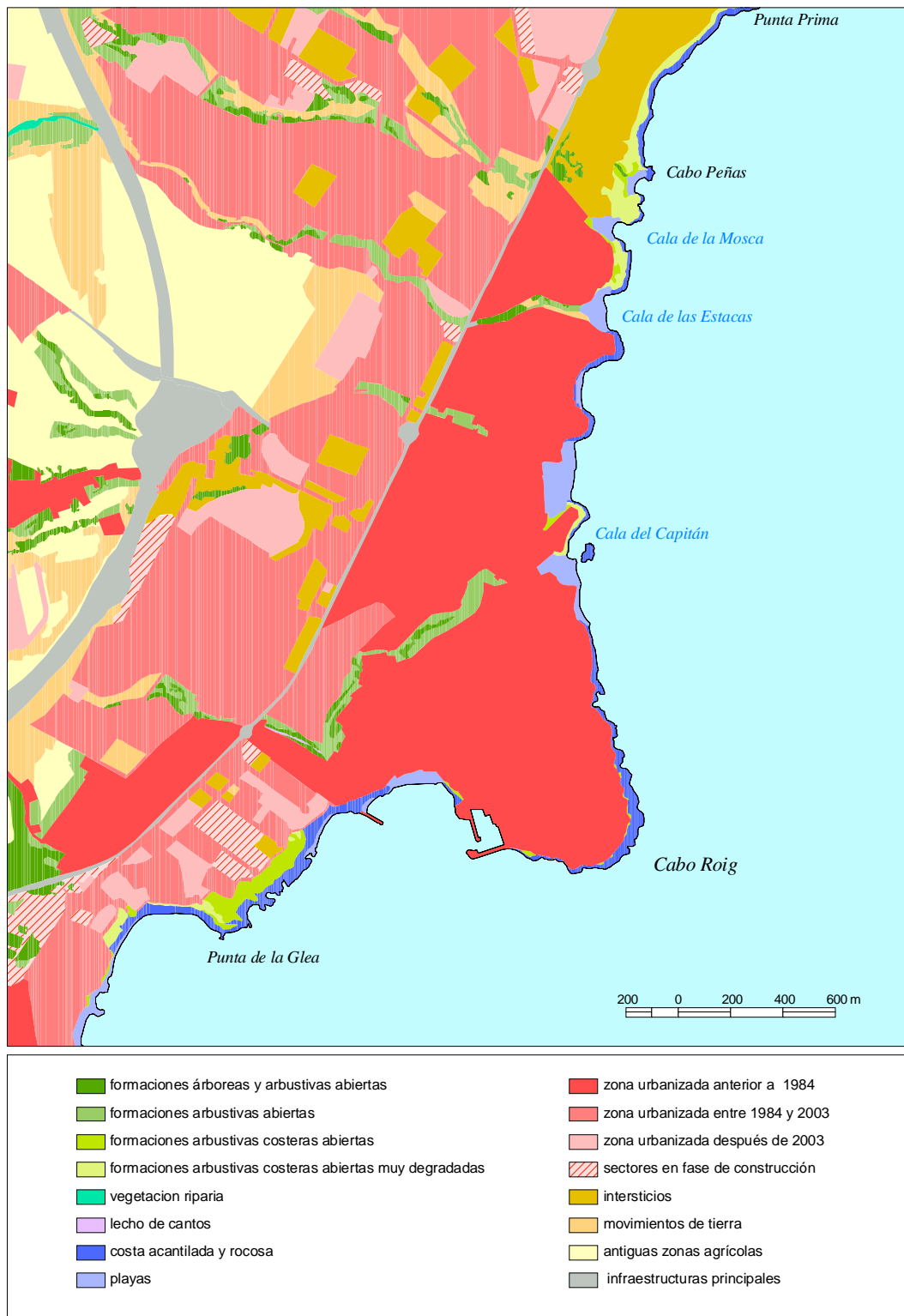


Figura 5. Mapa de usos del suelo y coberturas de la vegetación

Relación del área de ocupación *versus* usos del suelo: previsión de extinción

La distribución actual de *Helianthemum caput-felis* Boiss. está muy condicionada por los aprovechamientos del territorio, quedando fundamentalmente ceñida a espacios que no han sido edificados. De todos modos, es necesario realizar algunas puntualizaciones a esta afirmación de carácter general. Por este motivo, se ofrece a

continuación una relación pormenorizada de los resultados obtenidos al cruzar la cobertura de la localización de esta especie vegetal con la de los usos del suelo; para lo cual seguiremos el mismo esquema que en el apartado anterior (figura 6).

El área de ocupación de la jarilla cabeza de gato en las superficies consideradas como seminaturales (“costa acantilada y rocosa”, “playas”, “formaciones arbóreas y arbustivas cerradas”, “formaciones arbustivas abiertas”, “formaciones arbustivas costeras abiertas” y “formaciones arbustivas costeras abiertas muy degradadas”), representa el 70% del total de su distribución en el sector estudiado; mientras que sobre la caracterizada como antropogénica (“antiguas zonas agrícolas”, “principales infraestructuras”, “intersticios”, “movimientos de tierra”, “sectores en fase de construcción”, zona urbanizada anterior a 1984”, “zona urbanizada después de 1984” y “zona urbanizada después de 2003”), sólo supone un 30%.

Dentro del primer grupo destacan fundamentalmente las poblaciones próximas a la costa, ya sea directamente sobre los afloramientos de costra calcárea de los acantilados y en los taludes de limos, arcillas, gravas y cantos con presencia de algunos tramos encostrados, ya sea formando parte de las formaciones vegetales costeras abiertas. Estas poblaciones se localizan en los tramos situados entre Punta Prima, al norte de la Cala de las Estacas y en Punta de la Glea, siendo este último el de mayor densidad de ejemplares. En segundo lugar, destaca la presencia de *Helianthemum caput-felis* Boiss. en pinares, maquias y matorrales heliófilos, es decir, en aquellos lugares tradicionalmente incultos dedicados a aprovechamientos de monte. En la actualidad, este tipo de espacios han quedado limitados a márgenes de cañadas y barrancos, así como a interfluvios en los que aflora el caliche o costra calcárea, únicos sectores en los que la especie penetra hacia el interior, como ocurre en el caso de las cañadas de la Cala de la Mosca, de las Estacas y en el barranco de la Zenia. Estos restos de monte inducen a pensar que, al igual que ellos, también se ha reducido el área de distribución de la jarilla cabeza de gato.

Respecto a los usos caracterizados como antropogénicos, es preciso anotar dos cuestiones. Por una parte, la importante ocupación en los denominados “intersticios” o solares que se localizan tanto próximos a la costa como en el interior. En dichos espacios se mantiene el hábitat óptimo de la planta, caracterizado por formaciones arbustivas abiertas en general, lo que nos aporta pistas de la amplitud del área de distribución potencial de esta especie vegetal. Por otra parte, indicar la presencia en las zonas urbanizadas consolidadas, explicada por la existencia de pequeñas parcelas que no se han llegado a edificar.

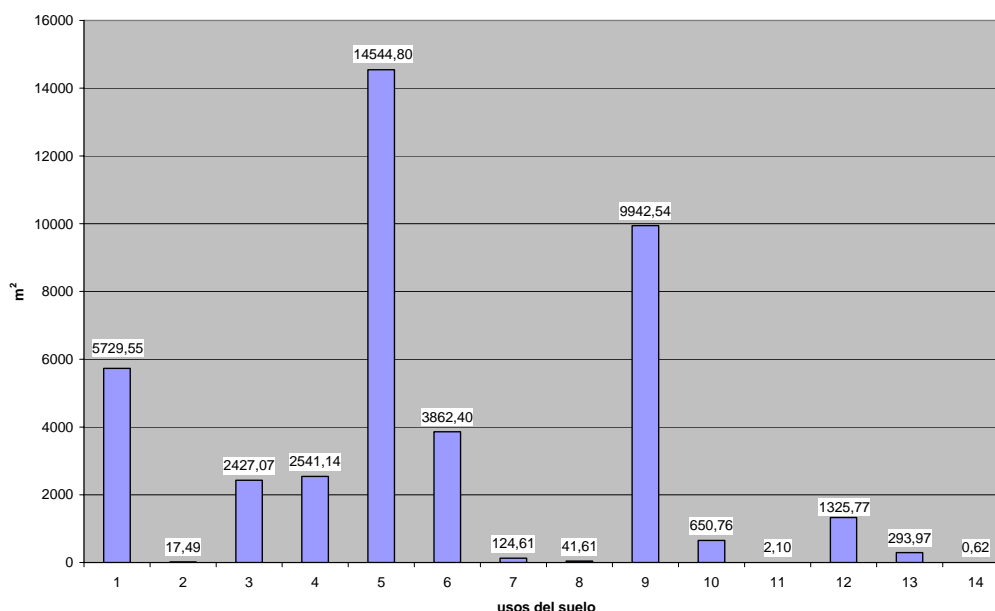


Figura 6. Superficie ocupada por *Helianthemum caput-felis* Boiss. 1. Costa acantilada y rocosa, 2. Playas, 3. Formaciones arbóreas y arbustivas cerradas, 4. Formaciones arbustivas abiertas, 5. Formaciones arbustivas costeras abiertas, 6. Formaciones arbustivas costeras abiertas muy degradadas, 7. Antiguas zonas agrícolas, 8. Principales infraestructuras, 9. Intersticios, 10. Movimientos de tierra, 11. Sectores en fase de construcción, 12. Zona urbanizada anterior a 1984, 13. Zona urbanizada entre 1984 y 2003, 14. Zona urbanizada después de 2003.

El cálculo del área de ocupación de *Helianthemum caput-felis* Boiss. ha permitido contrastar esta información con los usos del suelo para conocer exactamente dónde se localizan y, lo que es más importante, se ha podido realizar una estimación de la superficie que se perderá de acometerse el planeamiento vigente (figura 7). Para ello, se han agrupado los usos en dos categorías:

- Usos del suelo que pueden suponer una reducción del área de ocupación, bien por su consolidación urbana actual, bien porque se ejecute el planeamiento. En este grupo se han incluido los “intersticios”, “movimientos de tierra”, “sectores en fase de construcción” y todas las zonas urbanizadas. Estas superficies se corresponderían con el 30% del total de la población de *Helianthemum caput-felis* Boiss. en el área estudiada
- Sectores en los que no hay prevista ninguna ejecución urbanística y, que por lo tanto, serán las zonas de conservación de esta especie vegetal. Se incluyen todos los usos del suelo caracterizados como seminaturales, es decir, “costa acantilada y rocosa”, “playas”, “formaciones arbóreas y arbustivas cerradas”, “formaciones arbustivas abiertas”, “formaciones arbustivas costeras abiertas” y “formaciones arbustivas costeras abiertas muy degradadas”, además de las “antiguas zonas agrícolas”. Representa el 70%.

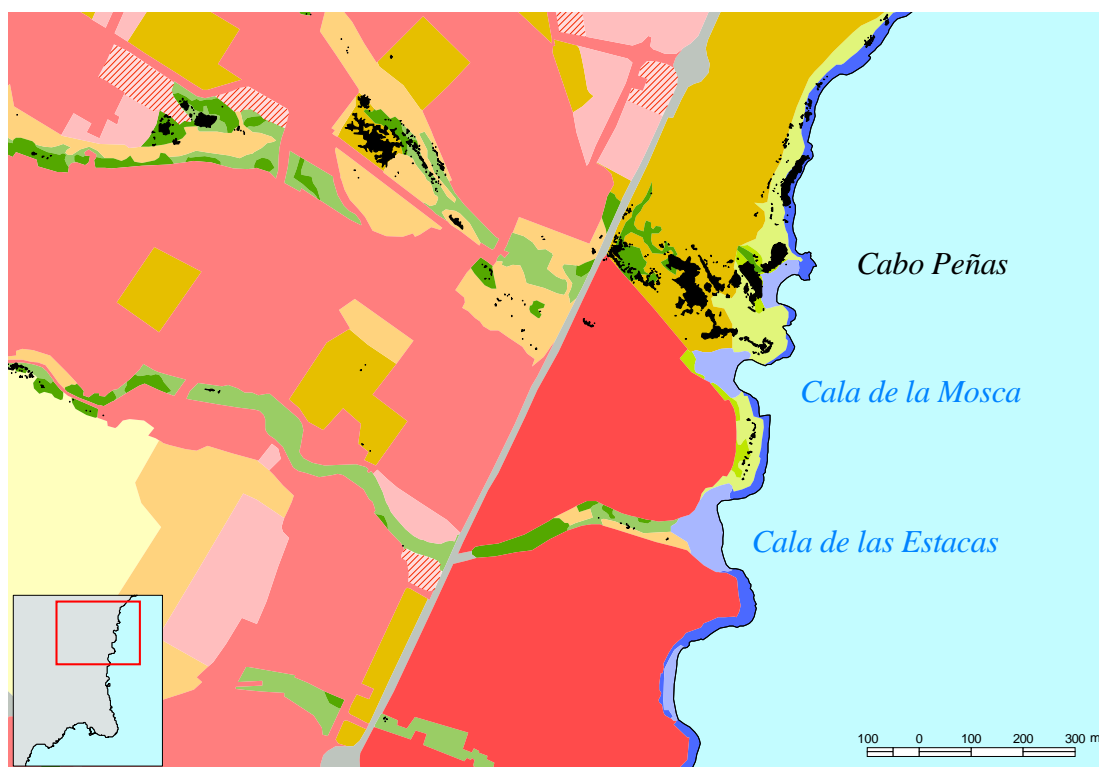


Figura 7. Detalle de la superposición de la capa de usos del suelo y coberturas vegetales (ver leyenda de la fig. 4) y del área de ocupación de *H. caput-felis* Boiss. (en negro), en el que se puede apreciar la localización de alguna de las manchas en sectores catalogados como intersticios

Una vez aplicada la extinción previsible a la capa del área de ocupación representada mediante manchas, se ha procedido a realizar dicho cálculo pero a partir de la representación del área de ocupación mediante el sistema de cuadrículas de 100 m de lado. De las 126 cuadrículas que constituyen el área de ocupación, *Helianthemum caput-felis* Boiss. continuaría estando presente en 94 de ellas, mientras que desaparecería en las 32 restantes; es decir, que la reducción sería del 25%, frente al 30% utilizado en el sistema anterior (figura 8).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten reflexionar sobre la validez de los dos tipos de cálculo del área de ocupación empleados.

En el primer caso, la aplicación de cuadrículas UTM de 100 m de lado no ofrece resultados ajustados en un análisis espacial donde el resto de variables son polígonos resultantes de los usos del suelo y del planeamiento. Sin embargo, este tipo de representación del área de ocupación es la más difundida (Marco et al, 2006), aspecto que le dota de una gran utilidad a la hora de aplicar algunos criterios y categorías de protección UICN. Igualmente, resulta un método de representación cartográfica adecuado para la síntesis de los resultados del análisis, como demuestra la figura 8.

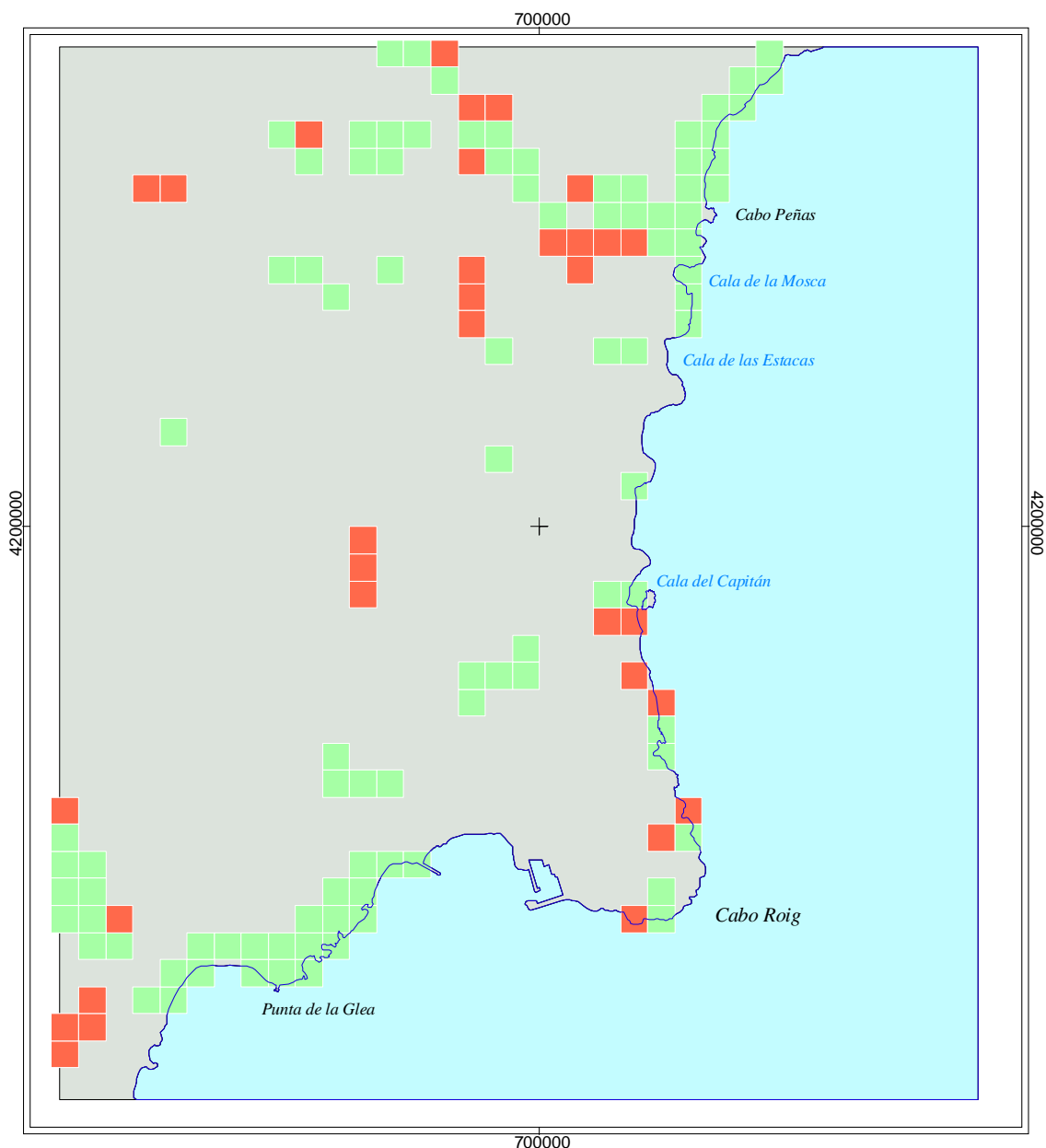


Figura 8. Previsión de extinción de *H. caput-felis* Boiss. mediante el sistema de CUTM de 100 m de lado

El cálculo de la ocupación física de cada planta o conjunto de plantas a partir de los datos obtenidos en campo con GPS ofrece garantías, tanto en la aplicación de estos últimos criterios y categorías, como en los obje-

tivos planteados inicialmente. Buena muestra de ello se encuentra en la comparativa de superficies ocupadas por la planta: 126 ha en el primer caso frente a las 4,15 ha que ofrecen los datos de trabajo de campo. Si para la medición del área de ocupación, el sistema de cuadrículas supone un sobredimensionado de la superficie 30 veces mayor que el medido mediante el sistema de manchas, este mismo sistema presenta un comportamiento inverso, aunque más atenuado, cuando se comparan los datos sobre previsión de la extinción. Con el primer sistema, la reducción del área de ocupación rebasa en poco el 25%, mientras que a partir de los datos del segundo, dicha reducción llega a ser del 30%. Si en este último aspecto la diferencia puede ser asumible, no opinamos lo mismo con respecto del primero; una diferencia de la magnitud reseñada puede ser decisiva para catalogaciones de amenaza menores que las reales y, lo que es más grave, para excluir ciertas especies de las categorías de amenaza.

En la aplicación de esta metodología es necesario hacer unas consideraciones:

- Es imprescindible la elaboración de mapas de uso del suelo a escala de detalle, ya que la localización de la planta es muy exacta pero su distribución es también muy variable. Una fotointerpretación errónea de los bordes de cada uno de los usos, aún tratándose de unos pocos decímetros, puede variar la localización de un ejemplar o conjunto de ejemplares, desvirtuando los análisis y resultados posteriores.

- Durante la realización de los análisis espaciales se han planteado algunos inconvenientes derivados de incorrecciones en la cartografía básica y temática procedente del ICV (E 1:10.000), como por ejemplo la relativa a la línea de costa.

- Los avances en el instrumental de toma de datos y los cambios en las estaciones para las correcciones diferenciales en post-proceso, han determinado diferencias en la precisión de los resultados iniciales y finales. De esta forma, puede darse la circunstancia de que algunos puntos fuguen hacia zonas colindantes, apareciendo ejemplares sobre coberturas urbanas, a unos centímetros o a unos metros de su localización original. De ahí que las características del instrumental empleado sea de gran importancia en los trabajos de cartografía corológica a escala de detalle.

De la distribución del área de ocupación por usos y coberturas de vegetación se extraen las siguientes conclusiones sobre las preferencias del hábitat de la planta:

- En las formaciones arbustivas abiertas en general, se instala casi el 50% del área de ocupación (20.948,3 m²) que, sumando las correspondientes a los intersticios, habida cuenta que son formaciones arbustivas abiertas, se alcanzaría cerca del 75% en este tipo de hábitats.

- El segundo ambiente en importancia lo constituiría el identificado como “costa acantilada y rocosa”, caracterizado por el dominio de procesos subaéreos y marinos ligados a la erosión hídrica y dinámica de taludes; ámbito que acoge una séptima parte del área de ocupación (5.729,5 m²). El rasgo fundamental de estos sectores es que se trata de espacios inestables; condiciones que se reproducen artificialmente, en los sectores con movimientos de tierra (650,7 m²) o, incluso, en terraplenes y taludes de infraestructuras (41,6 m²). En cualquier caso, este tipo de localizaciones avalan la idea de que la especie es capaz de prosperar en medios inestables como los señalados (Marco *et al.*, 2006: 177)

- Los medios menos favorables son las “playas” y las formaciones vegetales cerradas tanto arbóreas como arbustivas. Sobre substrato arenoso la presencia de jarilla es casi nula, se podría decir que derivada de las imprecisiones de digitalización. Mientras que, en pinares y maquias, sólo tiene una presencia testimonial y marginal, ligada a bordes y claros en estas formaciones.

- En “antiguas zonas agrícolas” su presencia es, igualmente, reducida. Junto a las inexactitudes derivadas de la digitalización, el predominio de herbazales nitrófilos puede significar un elemento adverso para el desarrollo de la planta.

- En las zonas urbanizadas, sin olvidar tampoco los defectos de la digitalización, su presencia está ligada, sobre todo, a la existencia de solares por edificar en los que predominan formaciones arbustivas abiertas o movimientos de tierra. Así mismo, se ha observado su presencia en zonas ajardinadas de carácter “ecológico” casual, es decir, derivado del descuido o escaso mantenimiento.

Los datos restrictivos y su carácter puntual y poligonal permiten una gestión más eficaz de las poblaciones de *H. caput-felis* Boiss., de manera que se obtiene una información ambiental que puede ser equiparable a la

urbanística. De hecho, parte de los resultados expuestos ya han sido utilizados con este fin; concretamente en un sector del tramo de litoral alicantino analizado en este trabajo: la Cala de la Mosca, ya comentado en el apartado dedicado a la descripción de la zona de estudio. En abril de 2007, se emitió una denuncia por parte del SEPRO-NA de la Guardia Civil debido a la apertura de viales para la edificación que estaba causando la destrucción de poblaciones de *Helianthemum caput-felis* Boiss. A raíz de este hecho, se redactó un informe en el que se hizo uso de la información relativa al área de ocupación de la especie objeto de estudio, tal cual se ha expuesto en este trabajo. Consistió fundamentalmente en la elaboración de una cartografía de detalle de su distribución para cuantificar qué pérdidas se habían producido, qué poblaciones se verían afectadas de continuar las obras, delimitar las áreas ocupadas y no alteradas para evitar su eliminación y proponer modificaciones en la ordenación del plan parcial del sector. El resultado más relevante ha sido la redistribución de su edificabilidad y el planteamiento de propuesta de una microreserva vegetal de iniciativa privada.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha elaborado dentro del Proyecto I+D+I *Cartografía corológica a gran escala como herramienta para la gestión y conservación de flora rara, endémica o amenazada: área de distribución de Helianthemum caput-felis Boiss. en la Comunidad Valenciana* (GV/2007/139), financiado por la Generalitat Valenciana; y ha contado, además, con una ayuda de la Universidad de Alicante para grupos de investigación (VIGROB-142)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bañares, A.; Blanca, G.; Güemes, J.; Moreno, J.C. y Ortiz, S. (Eds.) (2004): *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascul ar Amenazada de España*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 1.069 pp.
- Bañares, A.; Blanca, G.; Güemes, J.; Moreno, J.C. y Ortiz, S. (2007): *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascul ar Amenazada de España. Agenda 2006*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 92 pp.
- Domínguez, *et al.* (1994): Asientos para un atlas corológico de la flora occidental, 22: Mapa 627 (adiciones). *Fontqueria*, 40: 143-144.
- Laguna, E. *et al.* (1998): *Flora endémica, rara o amenazada de la Comunidad Valenciana*, Generalitat Valenciana, Valencia, 443 pp.
- Marco, J.A. (2005): Los humedales costeros del sur de Alicante: perspectiva evolutiva. En: J.F. Vera (Coord), *Jornadas del Bicentenario. Torreveja, 1803-2003*. Ayuntamiento de Torreveja-Universidad de Alicante, Alicante, pp. 33-54.
- Marco, J.A.; Padilla, A. y Sánchez, A. (2006): Cartografía corológica mediante el uso de GPS de especies endémicas, raras o amenazadas en el sector oriental de Aitana (Alacant). *Serie Geográfica*, 13: 1-24.
- Marco, J.A.; Padilla, A.; Sánchez, A. y Giménez, P. (2006b): *Helianthemum caput-felis* Boiss. entre Punta Prima y Cabo Roig (litoral surallicantino). En: P. Giménez, *et al.* (Eds.), *Geografía y Medio Ambiente. Guía de campo de las XXI Jornadas de Geografía Física*. AGE-Universidad de Alicante, Alicante, pp. 169-181.
- Mateo, G. y Soler, X. (1994): Asientos para un atlas corológico de la flora occidental, 22: Mapa 627. *Fontqueria*, 40: 142-143.

Padilla, A. (2002): Protección y conservación de la flora en la Comunidad Valenciana. *Investigaciones Geográficas*, 27: 107-130.

Serra, Ll. et al. (2000): *Distribución de la flora vascular endémica, rara o amenazada en la Comunidad Valenciana*. Generalitat Valenciana, Valencia, 230 pp.

Standards and Petitions Working Group (2006): *Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 6.2*. Prepared by the Standards and Petitions Working Group of the IUCN SSC Biodiversity Assessments Sub-Committee in December 2006 <http://app.iucn.org/webfiles/doc/SSC/RedListGuidelines.pdf>

UICN (2001): *Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN*. Versión 3.1. UICN, Gland, Suiza, 33 pp.

Recursos en la red:

www.icv.gva.es

www.trimble.es

Jenness, J. (2008): Convex hulls around points (conv_hulls_pts.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.23.

Jenness Enterprises. Available at: http://www.jennessent.com/arcview/convex_hulls.htm

Modugno, S; Serra, P. y Badia, A. (2008): Dinámica del riesgo de ignición en un área de interfase urbano-forestal. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 650-659. ISBN: 978-84-96971-53-0.

DINÁMICA DEL RIESGO DE IGNICIÓN EN UN ÁREA DE INTERFASE URBANO-FORESTAL

Modugno, S.; Serra, P. y Badia, A.

Departamento de Geografía, Edificio B, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193-Cerdanyola del Vallès (Barcelona). E-mail: sirio.modugno@uab.es

RESUMEN

La aceleración del proceso masivo de urbanización dispersa en zonas de interfase urbano-forestal reafirma la necesidad de aplicar políticas de prevención de los incendios forestales. Existen determinadas técnicas que permiten una aproximación de dónde, cuándo y cómo un incendio aparece y se propaga. Un método que ha mostrado resultados óptimos en la determinación de la probabilidad de ignición ha sido la regresión logística. Este método, combinado con datos de satélite y con un sistema de información geográfica, permite determinar la probabilidad de ocurrencia de los fuegos a través de la presencia o ausencia de puntos de ignición. En este trabajo se ha aplicado esta metodología en un área fuertemente antropizada de Catalunya, afectada históricamente por incendios forestales, especialmente en los dos años analizados, 1994 y 2003. Los resultados muestran que las zonas con menor altitud y con menor distancia respecto a las áreas urbanizadas y a las infraestructuras viarias presentan elevadas probabilidades de ignición. El modelo obtenido incrementa su poder explicativo, de una curva ROC de 0.68 en el 1994 a una de 0.76 en el 2003, debido al mayor grado de presión urbanística.

Palabras Clave: Incendios forestales, regresión logística, probabilidad de ignición, interfase urbano-forestal.

ABSTRACT

The acceleration of the massive process of disperse urbanization in zones of urban-forest interphase reasserts the necessity of applying policies towards forest fire risk prevention. There are several techniques which allow an approach to assessing where, when and how a fire starts and spreads. Logistic regression has been proved to yield optimal results in the determination of ignition probability. This procedure, along with satellite data and a geographical information system, allows the determination of the occurrence probability of fires from the presence or absence of ignition points. This work has focused on a highly urban-developed zone in Catalunya, historically affected by forest fires, especially on those two analyzed years, 1994 and 2003. Results show that areas at a lower altitude and closer to urban infrastructures and road networks present high ignition probabilities. The derived model increases its explanatory power, ranging from a ROC curve of 0.68, in 1994, to a 0.76 ROC curve, in 2003, as a consequence of the higher urbanistic pressure.

Key words: Forest fire, logistic regression, ignition probability, urban-forest interphase.

INTRODUCCIÓN

Los estudios de riesgo de incendios forestales pueden ser abordados considerando en mayor o menor grado el factor humano. En determinados estudios se enfatizan las características biofísicas donde las variables se usan para obtener la propensión a la inflamabilidad (Chuvienco et al., 1998; Manzo-Delgado et al., 2007; Vidal y Devaux-Ros, 1995). El mínimo común denominador de los estudios que utilizan las variables biofísicas es considerar como fundamental el contenido de la humedad en las cubiertas forestales e interpretar ésta inversamente proporcional a su potencial de combustión (Nelson, 2001). Otra línea de investigación es la que intenta estimar las influencias antrópicas, principalmente las relacionadas con la presencia humana, como causa directa o indirectas de los incendios (Vega et al., 1995; Vilar et al., 2007; Chuvienco y Martín, 2004).

Sin embargo, mientras que los factores biofísicos son determinados por una cierta regularidad, las acciones humanas son bastantes imprevisibles y el reconocimiento de los indicadores que definen una mayor o menor responsabilidad en la aparición de fuegos se configura como una tarea complicada, caracterizada por la incertidumbre de los resultados. En este trabajo se analiza el modelo urbano que caracteriza la zona, un modelo de urbanización disperso con presencia de grandes centros. Desde este análisis se han deducido algunas variables humanas que podían presentar, especialmente, una elevada influencia en el riesgo de incendios forestales. El área de estudio se caracteriza por su gran valor natural y por la fuerte presión antrópica, ejemplo de las zonas de interfase urbano-forestal del mediterráneo.

La estadística se configura como una herramienta que puede ayudar a entender las relaciones entre algunas variables, representantes de determinadas acciones humanas, y la incidencia de puntos de ignición. Si la previsión de la dinámica humana puede presentarse como de difícil actuación, el análisis de su distribución territorial puede evidenciar relaciones significativas. En este trabajo, a través de la regresión logística, se han ido seleccionando algunos factores biofísicos y humanos que podían mostrar una relación con la aparición de puntos de ignición.

En definitiva, el objetivo de la comunicación es determinar las variables biofísicas y humanas explicativas de la aparición de puntos de ignición utilizando la regresión logística y la comparación temporal entre los resultados del año 1994 y del 2003.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en la provincia de Barcelona, en la zona de la cordillera pre-litoral con una superficie total de 1710 km² (figura1). Esta área consta de 38 municipios, destacando Manresa, Sabadell y Terrassa. Así mismo, en el área coexisten cuatro parques naturales: Montserrat, Sant Llorenç del Munt, Gallifa y Cingles de Bertí. Estas áreas son islas de naturaleza aprovechadas especialmente en momentos de ocio, no solo por el turismo de las zonas limítrofes, si no también de la misma metrópoli de Barcelona. De especial interés es el parque de Monserrat, ya que se trata de un lugar de culto religioso de gran importancia (El monasterio de Montserrat). La vegetación típica mediterránea del área de estudio está constituida por el *Pinus halepensis* y a altitudes sobre los 600 m se encuentran variedades de *Quercus* como testimonio de una vegetación mediterráneo-montana. También cabe resaltar el sotobosque muy prolífico y las zonas de cuencas mas húmedas donde aparecen también de forma más esporádica especies de gran interés como el *Taxus baccata*.

Toda esta área se encuentra en la zona de clima mediterráneo húmedo, con una elevada variabilidad climática estacional y anual: veranos secos, otoños lluviosos, inviernos suaves y primaveras húmedas. Los paisajes constituidos por áreas verdes adornan un perfil morfológico característico de los macizos de naturaleza sedimentaria constituidos por antiguos conos de deyección. La acción de la erosión diferenciada caracteriza sobretodo verticalmente el perfil de Montserrat constituyendo una unidad paisajística única. A esta descripción se tienen que tener en cuenta las características microclimáticas determinadas por la altitud de la zona que caracteriza los cuatros macizos con un desnivel de unos 1000 m (el parque de Monserrat resulta ser el más alto con una altitud de 1236 m).

El análisis territorial permite la búsqueda de variables aptas para considerar la biodiversidad y la consecuente alta vulnerabilidad del territorio. La vegetación presente con su propensión a la inflamabilidad y la fuerte presión antrópica determina un escenario de preocupante vulnerabilidad de cara al fenómeno de los incendios forestales. La presencia de aglomeraciones y de personas que frecuentemente son turistas supone un riesgo potencial en sí mismo ante la probabilidad de aparición de incendios (Caballero, 2004).

En definitiva, se ha escogido esta área piloto por su interesante valor ecológico, elevada presencia de puntos de igniciones de incendios, fuerte presión antrópica y modelo urbano predominante disperso, creando así zonas de interfase urbano-forestal. Esta área puede satisfacer las expectativas de estudio porque es representativa de gran parte de las zonas mediterráneas afectadas por incendios forestales.

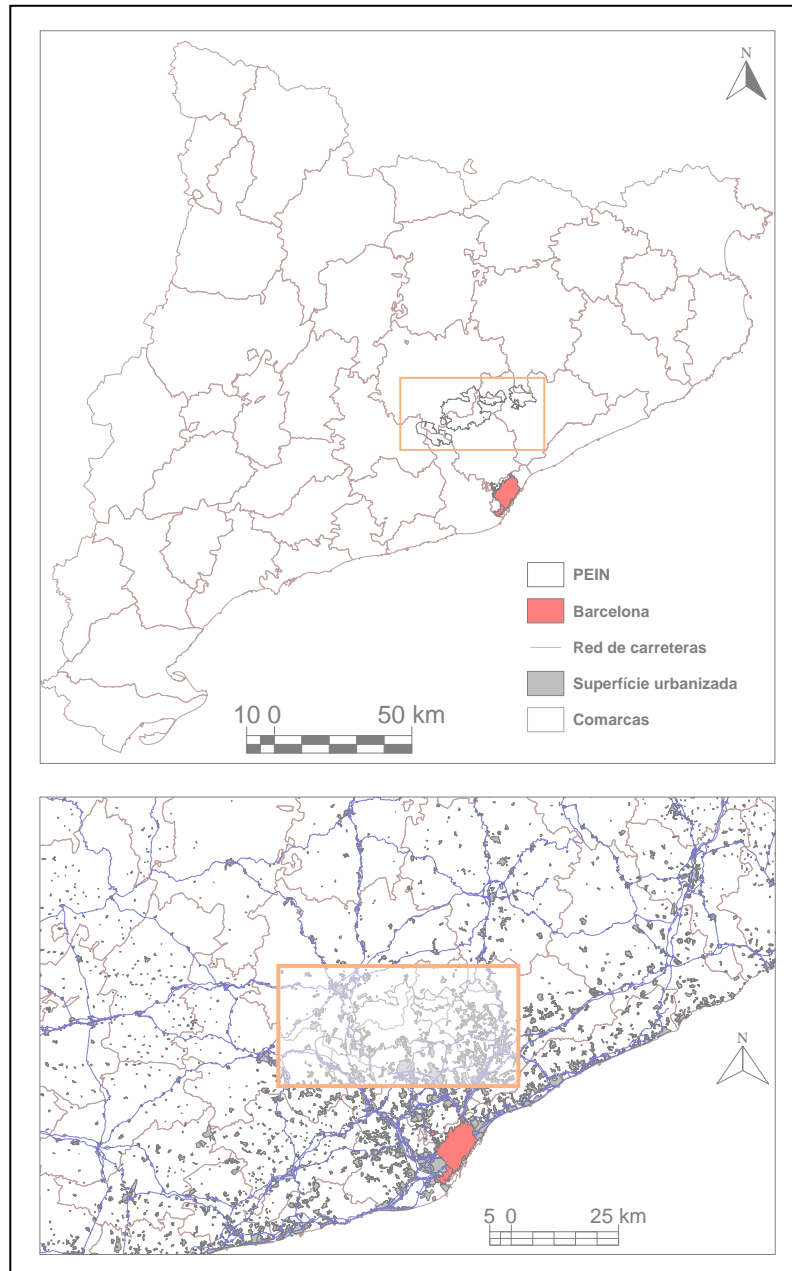


Figura 1. Área de estudio. Elaboración propia.

METODOLOGÍA

El concepto de riesgo de incendios forestales se puede definir como la probabilidad que un determinado fenómeno peligroso afecte negativamente elementos territoriales, relacionando así el riesgo de incendios forestales con la perspectiva del riesgo ambiental de Varnes (1984). Introduciendo el concepto de probabilidad es inevitable pensar en la estadística como herramienta adecuada para el estudio de la ocurrencia de incendios.

El problema principal en la previsión de incendios forestales es encuadrar la dinámica humana, especialmente presente en las zonas mediterráneas. Se han considerado así los factores territoriales, intentando evidenciar la relación ser humano-masas forestales frente a la aparición de puntos de ignición. El cálculo del riesgo de incendios forestales puede realizarse aplicando la regresión logística (RLO), ya que se ha demostrado eficaz a la hora de analizar la interacción entre la dependiente (puntos de ignición) y las variables independientes (Badia, 2000).

La RLO es una función constituida por una variable dependiente dicotómica (sí, no; verdadero, falso; ausencia, presencia) y un conjunto de una o más variables independientes cuantitativas o cualitativas. El resultado que se obtiene es una función de las variables independientes que clasifique a los individuos en una de las dos subpoblaciones establecidas por la variable dependiente. Los valores resultantes estarán comprendidos en el rango 0-1.

La función es:

$$f(z) = \frac{1}{(1 + e^{-z})}$$

Donde Z se obtiene aplicando una regresión lineal multivariante con las variables independientes:

$$Z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p$$

y donde β_0 es la constante y los β_p son los coeficientes a estimar.

Se ha aplicado la metodología a dos años diferentes, 1994 y 2003, con el objetivo de poder utilizar la comparación temporal para enmarcar la tendencia evolutiva del fenómeno estudiado. Se han escogido estos dos años entre la bases de datos disponibles, desde el 1987 al 2004, porque son dos de los años más afectados por incendios forestales. Como variable dependiente se utilizó los puntos de ignición de los dos respectivos periodos, en consecuencia el objetivo aplicando la RLO era encontrar las zonas con mayor probabilidad de aparición de puntos (variable esperada). Las variables independientes se han determinado intentando considerar tanto los factores biofísicos como los factores socio-territoriales.

En la tabla 1 se resumen las variables disponibles tanto biofísicas como humanas. En el primer grupo encontramos dos índices derivados del sensor *Thematic Mapper* de la plataforma Landsat-5 de un día representativo del mes de Julio de 1994 y de Julio de 2003, respectivamente: el *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) y el Grado de Estrés Diario (GED). El NDVI es un índice resultado de la división entre la diferencia de la banda del infrarrojo cercano con el rojo y la suma de la banda del infrarrojo cercano con el rojo. El GED se obtiene de la diferencia entre la temperatura de la superficie terrestre y la temperatura del aire. También como variables biofísicas hemos considerado el modelo digital de elevación (MDE) y la pendiente del área de estudio. Para la representación de la presión humana se introdujo el mapa del uso del suelo, del 1993 y del 2002, la distancia a las zonas del *Pla d'Espais Interes Natural* (PEIN, zonas de protección natural por parte de la Generalitat de Catalunya, decreto 328/1992), la distancia a la red de carreteras principales y, finalmente, la distancia a la superficie urbanizada derivada del censo del 1991 y del censo del 2001. El NDVI se ha considerado como indicador capaz de expresar el estrés hídrico de una cubierta forestal y la consecuente mayor o menor propensión a la ignición (Illera et al. 1996; Vidal y Devaux-Ros 1995), así como el GED. El MDE se ha empleado como indicador más o menos directo de situaciones microclimáticas y se puede relacionar con la presencia del ser humano, mientras que la pendiente puede influir en la dificultad de acceso que impide o disminuye la presencia antrópica en determinadas zonas. La distancia de la zona urbanizada y la distancia de las redes de carreteras principales presentan una relación inversa con la presión antrópica sobre el territorio (Cardille, 2001; Vilar del Hoyo, 2007), mientras que en las áreas PEIN se presupone que son áreas con un control y una protección mayor.

Para la aplicación de la RLO de 1994 se ha seleccionado como variable dependiente una capa con 81 puntos de ignición y 81 puntos de no-ignición aleatoriamente distribuidos. Esta capa dicotómica con un total de 162 puntos se ha incluido en los diversos modelos constituidos por las variables independientes. El mismo procedimiento se ha efectuado para el estudio del año 2003, creando una capa de combinación de 92 puntos de ignición y 92 puntos aleatorios de no presencia.

El indicador usado para identificar la eficacia en la predicción de los modelos RLO ha sido la curva correspondiente al *Receiver Operating Characteristic* (ROC). Este valor indica el poder predictivo de los modelos obtenidos, en nuestro caso en relación a la probabilidad de ignición, en función de las variables independientes. Valores cercanos a 0,5 indican modelos muy poco explicativos, mientras que valores cercanos a 1 serían modelos muy explicativos.

Tabla 1. Variables biofísicas y humanas disponibles y fuentes de los datos.

Datos	Formato	Fecha	Fuente
Puntos de ignición	Alfanumérico (dbf)	1987 al 2004	Departamento de Medio Ambiente, Generalitat de Catalunya
NDVI	Ráster	17/07/1994 26/07/2007	Elaboración propia
GED	Ráster	17/07/1994 26/07/2007	Elaboración propia
MDE	Ráster	2000	Institut Cartogràfic de Catalunya
Pendiente	Ráster	2000	Elaboración propia
Red de carreteras principales	Vectorial	Mayo 2007	Departamento de Medio Ambiente, Generalitat de Catalunya
PEIN	Vectorial	2007	Departamento de Medio Ambiente, Generalitat de Catalunya
Usos del suelo	Ráster	1993 2002	Institut Cartogràfic de Catalunya
Inflamabilidad	Ráster	16/10/2001	Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals
Zonas urbanizadas 1991/ 2001	Vectorial	Censo 1991 Censo 2001	Departamento de Medio Ambiente, Generalitat de Catalunya

RESULTADOS

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos con tres modelos diferentes de RLO en el año 1994. En el modelo 1 se observa que la distancia PEIN, los usos del suelo y el índice GED presentaban una curva ROC de 0,58. De él se desprende que las variables introducidas no eran muy explicativas de la existencia de los puntos de ignición. Analizando el mapa de usos del suelo ninguna clase mostraba una significativa presencia de puntos de ignición. Por lo tanto, la hipótesis de que la mayoría de los puntos de ignición se ubicaban en determinados usos del suelo (monte bajo y prados, etc.) no se pudo aceptar. Tampoco se pudo establecer la incidencia de los puntos de ignición respecto a los valores del GED ya que mostraba una correlación muy baja; así que la distribución de los puntos de ignición era independiente de un valor positivo o negativo del GED. Finalmente, la distancia PEIN tampoco parecía ser muy explicativa a pesar de ser la variable con mayor peso de las tres.

En el modelo 2 (tabla 2) se efectuó la introducción de las variables distancia a la red viaria y NDVI, en lugar de los “usos del suelo” y del GED, con el consecuente aumento de la curva ROC de 0,58 a 0,63. La distancia a la red viaria introduce el concepto de presión antrópica sobre el territorio mientras que el NDVI se mostró más significativo para relacionar el estrés hídrico con los puntos de ignición que respecto el GED. Sucesivamente, se obtuvo el modelo 3 con la introducción de las variables distancia de la superficie urbanizada y el MDE. A través de la curva ROC este modelo se convirtió en el más significativo, con un valor de 0,68 en el año 1994. Los coeficientes de regresión parcial correspondientes a la RLO aparecieron con signo negativo, indicando la relación inversa con las tres variables. Esto significa que a mayor distancia de la superficie urbanizada y de la red viaria y a mayor altitud la probabilidad de riesgo de ignición disminuye.

Para efectuar la comparación temporal se han desarrollado los mismos tres modelos, antes descritos, también para el año 2003 (tabla 3). Los coeficientes de regresión parcial correspondientes a la RLO también apare-

cieron con signo negativo, indicando la relación inversa con las tres variables. El comportamiento del valor ROC es similar al del año 1994, con un primer modelo menos explicativo que el resto y siendo el último el más explicativo. Los resultados muestran en general valores ROC mayores que en el año 1994, siendo 0,76 el valor más elevado de todos ellos. Resulta, pues, determinante la proximidad de las infraestructuras viarias y de la superficie urbanizada que, efectivamente, en la zona de estudio sufre desde el censo de 1991 al de 2001 una expansión relevante (Nasarre y Badia, 2006). La figura 2 muestra el mapa final con la probabilidad de ignición resultado del modelo 3 del año 2003. Se puede observar los valores más bajos en el centro de las zonas más forestales así como los valores más elevados situados alrededor de las infraestructuras.

Tabla 2. Modelos de probabilidad de ignición, año 1994.

Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Distancia PEIN	Distancia PEIN	MDE
Usos del suelo 1993	NDVI	Distancia Superficie Urbanizada 1991
GED	Distancia redes viaria	Distancia redes viaria
ROC: 0.58	ROC: 0.63	ROC: 0.68

Tabla 3. Modelos de probabilidad de ignición, año 2003.

Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Distancia PEIN	Distancia PEIN	MDE
Usos del suelo 2002	NDVI	Distancia Superficie Urbanizada 2001
GED	Distancia redes viaria	Distancia redes viaria
ROC: 0.63	ROC: 0.68	ROC: 0.76

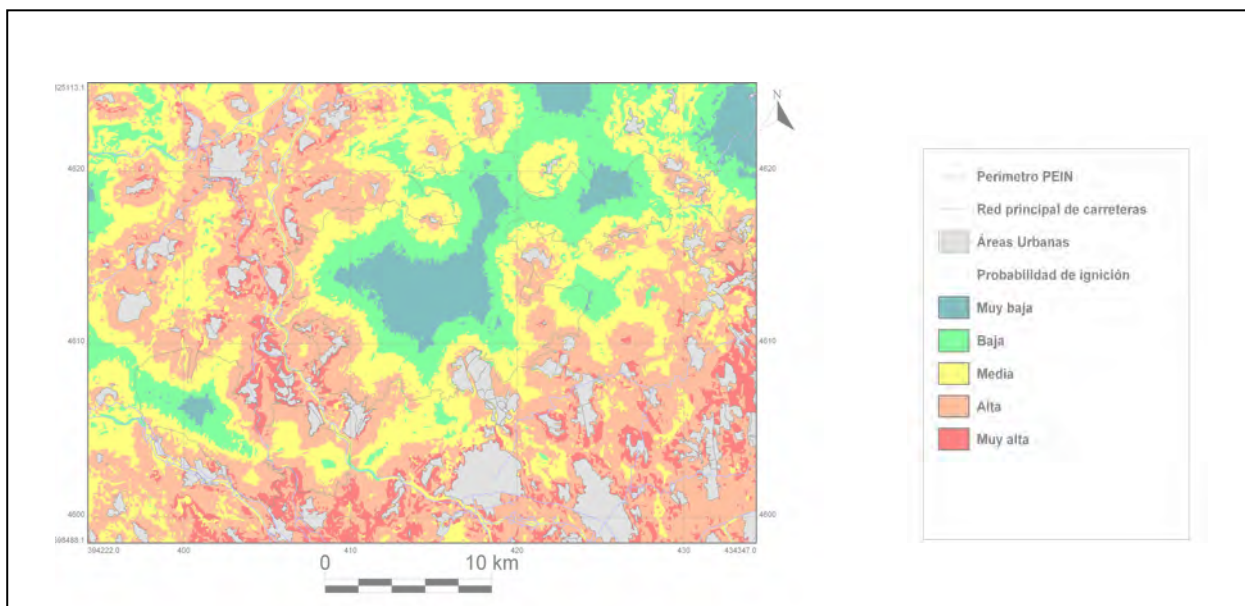


Figura 2. Mapa de probabilidad de ignición resultante del modelo 3 del año 2003. Fuente Elaboración propia.

La figura 3 muestra los resultados obtenidos entre la probabilidad de ignición y la distancia de la superficie urbanizada de los valores del 1994 y del 2003. En distancias inferiores a 1700 m el valor de probabilidad es superior en el 2003, mientras que se obtiene un punto de cruce en el valor de probabilidad de 0,6 después del cual a mayores distancias la curva del 1994 muestra una probabilidad más elevada. Similar comportamiento se observa en la figura 4 donde se relaciona la probabilidad de ignición en función de la distancia de la red de carreteras principales. En este caso la pendiente para el año 2003 es más pronunciada (típica de la RLO), mostrando en distancias inferiores a 1700 m probabilidades mayores al 1994. Finalmente, la figura 5 muestra la relación entre la probabilidad de ignición y la altitud, mostrando que la probabilidad de ignición es siempre más elevada en el 2003 independientemente de la altitud. En 1994 las probabilidades superiores a 0,5 aparecían alrededor de los 400 m de altitud, mientras que en el año 2003 estas se producían alrededor de los 600 m. En consecuencia en el año 2003 se producía un significativo incremento del riesgo. La figura 6 sintetiza los resultados obtenidos a través de un mapa en tres dimensiones entre la altitud y la probabilidad de ignición del modelo 3 del 2003. El color rojizo indica muy alta probabilidad, que se produce en las zonas de menor altitud, mientras que el color azul revela las zonas con una probabilidad muy baja, que corresponden a las mayores altitudes.

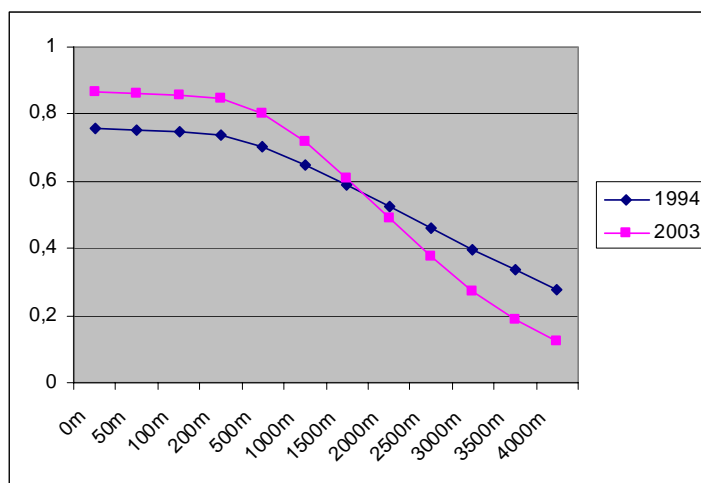


Figura 3. Gráfico de probabilidad de ignición en función de la distancia de la superficie urbanizada

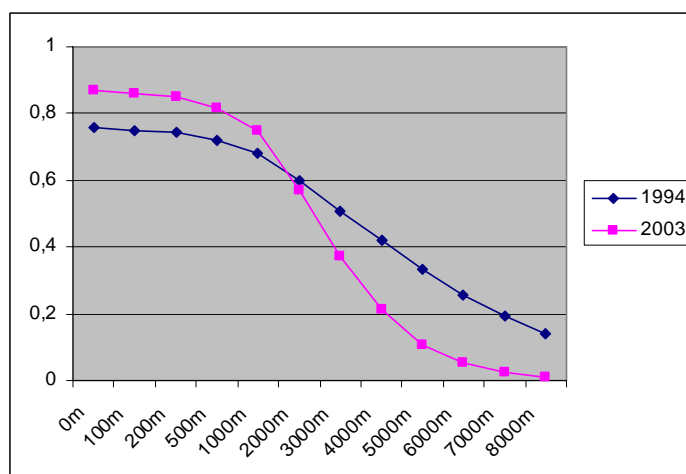


Figura 4. Gráfico de probabilidad de ignición en función de la distancia de la red de carreteras

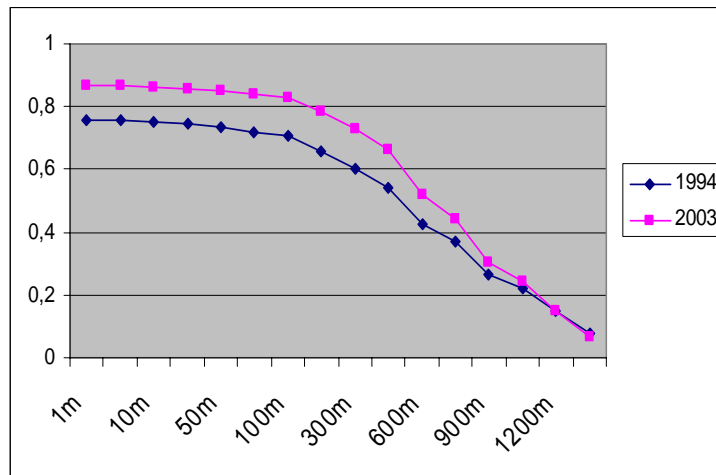


Figura 5. Gráfico de probabilidad de ignición en función de la altitud

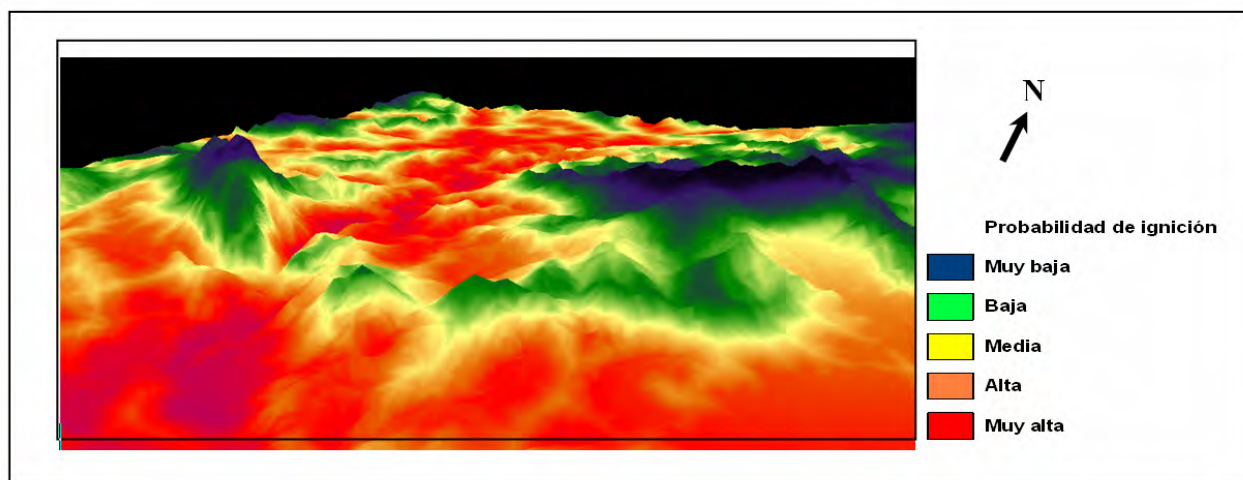


Figura 6. Mapa 3D de la combinación entre la altitud del área de estudio y de la probabilidad de ignición según el modelo 3 correspondiente al año 2003. Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

En este trabajo, la disponibilidad de una extensa base de datos de puntos de ignición (la variable dependiente) ha sido de especial interés ya que ha permitido la obtención de diversos modelos RLO para los dos años de estudio. En este sentido, el uso de esta base de datos mejora el análisis realizado a través de otras variables dependientes, por ejemplo, empleando cuadrículas o elementos poligonales ya que éstos pueden distorsionar los resultados (porcentajes de probabilidad) debido a una inadecuada generalización (en función de la escala y área de estudio entre otras razones).

Otro aspecto a destacar de este trabajo es la combinación de variables biofísicas y humanas introducidas en la RLO como variables independientes. Los indicadores biofísicos empleados en el cálculo de riesgo de incen-

dios forestales, entre los cuales tienen mucha importancia los índices meteorológicos, constituyen una gran parte de los modelos europeos aplicados a grandes unidades territoriales (Joint Research Centre 2004). En nuestro caso, es de destacar que el modelo más explicativo se ha obtenido a través de dos variables relacionadas con la actividad humana, en concreto con la presencia de infraestructuras propias de la actividad humana (distancia a la superficie urbanizada y a la red de carreteras principales) y con las características del medio físico (altitud). Estos resultados reafirman el carácter de interfase urbano-forestal del área de estudio. En consecuencia, mientras que en las grandes extensiones territoriales las variables biofísicas sirven para detectar situaciones extremas de alerta general, en las zonas de interfase urbano-forestal de las cuencas mediterráneas analizar unidades territoriales menores, identificando la influencia humana, puede ser más útil para una protección territorial realmente eficaz (Wooster et al., 1998).

Finalmente, los resultados muestran el incremento en el riesgo de probabilidad de ignición desde el año 1994 al 2003 en el área de estudio. En concreto se observa una mayor concentración de los puntos de ignición en las zonas más cercanas a la superficie urbanizada así como a la red de carreteras, incrementando el riesgo a la ignición. En consecuencia, fruto del modelo de urbanización dispersa, el citado incremento se produce en zonas cada vez más elevadas. Cabe destacar que en el año 1994 la concentración de los puntos de ignición era menor ya que la curva RLO era más suave y ya que en las zonas situadas a mayor distancia de las superficies urbanizadas y de la red de carreteras principales la probabilidad de ignición era mayor que en el 2003 (a partir de una probabilidad de 0,6 en ambos casos). En definitiva, se ha confirmado la adecuación de la RLO en la predicción de la probabilidad de ignición a través de variables explicativas. En el futuro, se intentará aplicar esta metodología a otras zonas de la cuenca mediterránea para efectuar una comparación espacial además de temporal.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Afifi, A. y Clark, V. (1998): *Computer-Aided multivariate analysis*. Chapman & Hall, London, 455 pp.

Badia, A., Pallarès, M. y Piñol, J. (2000): *La incidència dels incendis a l'Àrea Metropolitana de Barcelona i a la comarca del Bages durant el període 1987-1998*. Tesis Doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra.

Badia, A., Saurí, D., Cerdán, R. y Llurdés, J.C. (2002): La simulació dels incendis forestals al Bages com a mètode de planificació territorial de la prevenció i de l'extinció. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 53-54, pp. 81-97.

Caballero, D. (2004): Gestión de los riesgos de incendios en la interfase forestal- urbana: Proyecto WARM. *IIº Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas de Protección contra los incendios Forestales*, Córdoba, España. pp.1-16.

Cardille, A. J., Ventura, J.S. y Turner, M.G. (2001): Environmental and social factors influencing wildfires in the upper midwest, United States. *Ecological Application*, 11: 111-127.

Chuvieco, E. y Martín, M.P. (Coord.) (2004): *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. Consejo Superior de investigaciones Científicas, Madrid. 190 pp.

Chuvieco, E., Martín, M.P., Martínez, J. y Salas, F.J. (1998): Geografía e incendios forestales. *Serie Geográfica* 7: 11-17.

Departament de Medi Ambient (1996): *PEIN Pla d'espais d'interès natural*. Generalitat de Catalunya. Barcelona.

- Joint Research Centre (2004): *Assessment of fire damages in the EU Mediterranean countries during the 2003 Forest Fire Campaign*. European Communities, Italia, 39 pp.
- Illera, P., Fernández A. y Delgado, J.A. (1996): Temporal evolution of the NDVI as an indicator of forest fire danger. *International Journal of Remote Sensing*, 17: 1093-1105.
- Manzo-Delgado, L. Sánchez-Colón, S. y Álvarez R. (2007): Multitemporal analysis of NDVI and land surface temperature for modeling the probability of forest fire occurrence in central Mexico. *IV International workshop on the analysis of multitemporal remote sensing*. Leuven, Belgium, pp. 177-181.
- Nasarre, E. y Badia, A. (2006): Una aproximación al crecimiento de áreas urbanas a través de fotografía aérea y de sistemas de información geográfica. La ciudad de Terrassa como caso de estudio. *Cuadernos Geográficos*, 039: 185-201.
- Nelson, R. (2001): *Forest fires: behavior and ecological effects*. Johnson and Miyanishi, editors, San Diego, 90 pp.
- Pew, K.L. y Larsen, C.P.S. (1999): GIS analysis of spatial and temporal patterns of human-caused wildfires in the temperate rain forest of Vancouver Island, Canada. *Forest ecology and Management*, 140: 1-18.
- Romanelli, S., Maselli, F., Bottai, L. y Zippoli, G. (1998): Stima del rischio d'incendi Boschivi a scala regionale tramite GIS e dati telerilevati. *IIª conferenza ASITA*, Bolzano, Italia, pp. 6.
- Varnes, D.J. e International Association of Engineering Geology Commission on Landslides (1984): *Landslide Hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, París, 63 pp.
- Vega, C., Woodard, P.M., Titus, S.J., Adamowicz, W.L. y Lee, B.S. (1995): A logit Model for predicting the daily occurrence of human caused forest fires. *International Journal Wildland Fire*, 101-111.
- Vidal, A. y Devaux-Ros, C. (1995): Evaluating forest fire hazard with a Landsat TM derived water stress index. *Agricultural and Forest Meteorology*, 77: 107-224.
- Vilar, L., Gomez, I., Martín, M.P. y Martínez, F.J. (2007): Análisis comparativo de diferentes métodos para la obtención de modelos de riesgo humano de incendio forestales. *Wildfire -Sevilla*, pp.1-27.
- Wooster, M.J., Ceccato, P. y Flasse, S.P. (1998): Indonesian fires observed using AVHRR. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (3): 383-386.

Ojeda Zújar, J.; Álvarez Francoso, J.I.; Martín Cajaraville, D. y Fraile Jurado, P. (2008): El uso de las TIG para el cálculo del índice de vulnerabilidad costera (CVI) ante una potencial subida del nivel de mar en la costa andaluza. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 660-671. ISBN: 978-84-96971-53-0.

EL USO DE LAS TIG PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA (CVI) ANTE UNA POTENCIAL SUBIDA DEL NIVEL DEL MAR EN LA COSTA ANDALUZA

Ojeda Zújar, J.; Álvarez Francoso, J.I.; Martín Cajaraville, D. y Fraile Jurado, P.

Grupo de Investigación del PAIDI: "Ordenación Litoral y Tecnologías de Información Territorial". Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Sevilla. C/ Maria de Padilla, s/n, 41004 Sevilla. Email: zujar@us.es

RESUMEN

Unas de las metodologías más utilizadas, como una primera aproximación al cálculo de la vulnerabilidad de las costas (entendida como la sensibilidad ante un fenómeno y su capacidad de adaptación) ante la potencial subida del nivel del mar asociado al cambio climático, es el Coastal Vulnerability Index "CVI" (Gornitz et alia, 1992 y 1994; Hammar-Klose and Thieler, 2001). Se trata de un "índice o indicador integrado" calculado a partir de 6 variables (geomorfología, pendiente, tasas de erosión costera, altura del oleaje significativo, cambios del nivel relativo del mar y rango mareal medio). En esta comunicación se presentan los resultados de su cálculo para la costa andaluza (realizado a través de un convenio con la Consejería de Medio Ambiente). Se enfatizan las aportaciones metodológicas introducidas, esencialmente ligadas a: (i) la elaboración de una "geodatabase" para la estructuración y gestión de las variables originales, (ii) al uso del potencial analítico de los SIG para su integración, interpolación, ponderación y cálculo y (iii) a la utilización de las oportunidades que, para su cartografía y difusión, ofrecen los diferentes recursos asociados a las TIG (visores tridimensionales interactivos, web mapping, etc.).

Palabras Clave: Coastal Vulnerability Index, nivel del mar, geodatabase, SIG, visores tridimensionales.

ABSTRACT

The Coastal Vulnerability Index -CVI- (Gornitz et alia, 1992 y 1994; Hammar-Klose and Thieler, 2001) can be considered as one of the pioneer methodologies for a coastal vulnerability assessment (combination of coastal system susceptibility to change and its natural ability to adapt to changing environment) to future sea level rise associated to global climatic change. The CVI is an "integrated indicator" calculated by quantifying, ranking and integrated six variables (geomorphology/geology, slope, shoreline change rates, mean significant wave, relative sea level change and mean tidal range) into a simple equation. This paper shows the results of a study intended to apply and adapt the CVI methodology to the coast of Andalusia (Spain), having been funded by the Regional Ministry of Environment (Junta de Andalucía). The paper is focussed on the methodological procedures, specially those linked to: (i) the use of a "geodatabase" for data management and integration; (ii) the use of GIS' spatial analysis capabilities for interpolation, ranking and calculation; (iii) the exploration of mapping capabilities of Spatial Technologies for delivering the results (3D viewers, web mapping, etc.).

Key Words: Coastal Vulnerability Index, sea level rise, geodatabase, GIS, 3D viewer.

INTRODUCCIÓN

Tomando datos del último informe del IPCC (2007), el nivel del mar se ha elevado con tasas anuales de 1.7 mm. ± 0.5 durante el último siglo (1.8 mm. ± 0.5 para el periodo 1961-2003). Estas tasas fueron elaboradas a partir de estudios basados en datos registrados para una selección de mareógrafos a nivel mundial (PSMSL – Permanent Service for Mean Sea Level–) que fueron filtrados de la componente de movimiento vertical de las

masas continentales donde se asientan, utilizando modelos geodinámicos globales (Peltier) para corregir el ajuste isostático ligado a la fusión de los hielos del último periodo glacial (GIA).

Desde 1992 existe la posibilidad de medir el nivel medio del mar a partir de altímetros embarcados en satélites (Topex/Poseidon, Janson). Los trabajos publicados proporcionan tasas anuales de 3.1 mm. ± 0.7 (IPCC, 2007). Estos datos, al ser obtenidos con carácter cuasi-global reflejan la variabilidad espacial del nivel del mar, si bien, debido a la escala temporal de los registros, esta variabilidad espacial está mayormente asociada a variaciones de la temperatura y salinidad, así como a fenómenos hidrodinámicos a esta escala (Niño, NAO, etc.).

Para el próximo siglo, las tasas de incremento continuarán y, según hacia qué escenario (de los recogidos en el Informe del IPCC) evolucionemos, podrían tener valores que duplicarían las tasas registradas en el siglo XX. Estos datos, procedentes de modelos numéricos, suponen ascensos entre 18 cm. (escenarios más controladores de la emisión de gases invernadero) a 58 cm. (escenarios con menos intervención en la emisión de gases invernadero) para final del siglo XXI. Es importante constatar que, independientemente del escenario elegido, en nivel del mar seguirá subiendo a tasas entre 2 y 3 mm/año durante la primera mitad del siglo XXI.

Los impactos de esta potencial subida estarán asociados a un incremento de la erosión costera, a los procesos de intrusión salina en estuarios y acuíferos costeros o a la elevación de los riesgos de inundación entre otros. La evaluación y cuantificación de estos efectos y daños indeseados es un proceso complejo y se han desarrollado diferentes métodos para llevarlos a cabo, cada uno con ventajas y limitaciones (proyección de tasas de erosión, aplicación de la ley de Bruun, la modelización numérica de parámetros como el oleaje y la subida de nivel de mar, la cuantificación numérica –modelos– de balances sedimentarios, etc.).

OBJETIVOS Y ZONA DE ESTUDIO

En esta comunicación, para obtener una primera aproximación de la **sensibilidad y capacidad de adaptación** de la costa andaluza ante esta potencial subida del nivel del mar, se propone, como objetivo general, aplicar la **metodología (Coastal Vulnerability Index –CVI–)** desarrollada por el **USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos)**, con una adaptación a las características y escala de la costa andaluza.

Debido a su singularidad y peculiaridades (costa atlántica/costa mediterránea), la costa andaluza ha sido objeto de diferentes estudios por parte de diferentes investigadores e instituciones que nos permiten tener un conocimiento bastante detallado de las características físico-naturales de la costa andaluza y su evolución reciente (Serie Magna del IGME, Zazo et alia, 2000; Ojeda, 2003; Del Río, 2007 o Viciano, 1998 entre otros). Todos ellos han proporcionado un conjunto considerable de información que, en parte (sobre todo la expresada en forma cartográfica), fue integrada en el Sistema de Información Geográfica del Litoral de Andalucía (SIGLA), proyecto impulsado y financiado por la Consejería de Obras Públicas y Transporte de la Junta de Andalucía (Ojeda, 2005), con una importante contribución de otras consejerías, especialmente los datos aportados por la Consejería de Medio Ambiente. Esta consejería, a su vez, ha financiado la realización de un proyecto de investigación del que se derivan los resultados de esta comunicación que, más que centrarse en los resultados, presenta un enfoque esencialmente metodológico enfatizando las aportaciones de las TIG al proceso de cuantificación y cartografía del CVI. Por otra parte, la importante base de datos espacial implementada en el SIGLA ha representado la principal fuente de datos para algunas de las variables utilizadas en la elaboración del CVI y, por tanto, constituye la base para la generación de la *geodatabase* que sustenta este estudio.

METODOLOGÍA

La elección de este índice (*Coastal Vulnerability Index –CVI–*) está justificado por tratarse de un índice sintético, integrado por variables de carácter mayoritariamente cuantitativo, de fácil aplicación a partir de los datos existentes sobre la costa de Andalucía y de amplia aceptación en otros estados y ámbitos costeros (USA, Canadá, Indonesia, etc.), así como por proponerse, con las consiguientes modificaciones para adaptarlo a las características de la costa española, en el informe sobre “Impactos en la costa española por el cambio climático”

(Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas, 2007) realizado por el Ministerio de Medio Ambiente (Fase III: Estrategias frente al cambio climático en la costa).

Para la correcta comprensión de los resultados del mismo es esencial enfatizar que se trata de un índice relativo de la **vulnerabilidad** de la costa ante la potencial subida del nivel del mar. El concepto de vulnerabilidad se asocia a la sensibilidad de un ecosistema (grado en que puede verse afectado en función de su exposición) ante un fenómeno (subida del nivel del mar) o/y a su capacidad de adaptación. Generalmente se acepta distinguir entre vulnerabilidad del medio natural y vulnerabilidad socio-económica, pero enfatizando su interrelación e interdependencia. Es comúnmente aceptado que el primer paso en todo estudio de vulnerabilidad comienza por el análisis de la vulnerabilidad del medio natural. A este objetivo se dedica la presente comunicación.

Para evaluar esta respuesta de la costa ante una potencial subida del nivel del mar, la primera fase está centrada en la cuantificación de las diferentes variables que contribuyen a la evolución de la costa en un área determinada. Para ello se han propuesto varias metodologías de evaluación de la vulnerabilidad a través de diferentes índices. Experiencias pioneras fueron las de Gornitz et alia (1992, 1994) en USA y Shaw et alia (1998) para las costas canadienses. Posteriormente el USGS ha puesto a punto una metodología (Hammar-Klose and Thieler, 2001) que se ha aplicado a escala nacional en USA y a escala “regional” centrada en los Parques Nacionales costeros de aquel país. Esta metodología, que se utilizará ligeramente modificada en esta comunicación, se basa en la ponderación de 1 (muy baja vulnerabilidad) a 5 (muy alta vulnerabilidad) para un conjunto de 6 variables que tienen una clara influencia en la evolución de la costa. Estas variables se clasifican en dos grandes grupos:

- *Variables geológicas/geomorfológicas*. Estas variables son consideradas en función de: a) la resistencia que ofrece el soporte geológico/geomorfológico a la erosión (geomorfología/geología); b) las tendencias del cambio de la línea de costa a largo plazo (tasas de erosión) y c) la susceptibilidad a los procesos de inundación marina (pendiente costera).

- *Variables físicas*. Las tres variables incluidas contribuyen significativamente a los procesos de erosión e inundación del sector costero analizado: d) altura media del oleaje significante; e) tasas de cambio del nivel relativo del mar y f) rango mareal medio.

El relativamente simple sistema de ponderación (de 1 a 5) empleado con las 6 variables permite su integración en una ecuación que, finalmente, proporciona el **Índice de Vulnerabilidad Costera (CVI)**:

$$CVI = \sqrt[2]{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}}$$

RESULTADOS

Cálculo y clasificación de la variable: “geología/geomorfología” (MOR)

Esta variable expresa la erodibilidad relativa de las diferentes formaciones costeras. El sistema de clasificación utilizado exige la asignación a cada tramo costero (en nuestro caso de 200 metros aproximadamente) de un valor entre 1 y 5 de vulnerabilidad. Esta asignación para una variable cualitativa, aunque aquí expresada cuantitativamente, exige una detallada información sobre la morfología y geología de la costa analizada. La posibilidad de utilizar la información georreferenciada contenida en el SIGLA (MDE, mapas geológicos, mapas fisiográficos, etc.), junto a su visualización 3D con el visor desarrollado para ello (Ojeda y Cabrera, 2006), ha sido de inestimable ayuda para la incorporación de esta variable a la *geodatabase* sobre la que se calculará el CVI. Asimismo, ha sido esencial la disponibilidad de fotografías de campo (7000) y videos (1000) georreferenciados con GPS procedentes de un recorrido sobre el litoral de Andalucía realizado por el Grupo de Investigación al que pertenecen los autores de este trabajo, también incluidos en el SIGLA. Con este bagaje documental se procede a establecer los criterios de clasificación como se muestra en la tabla:

Tabla 1. Clasificación de la variable “geología/geomorfología”.

VARIABLES	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
Valor clasificado	1	2	3	4	5
MOR (descripción)	Acantilados altos sobre rocas coherentes	Acantilados medios sobre rocas de resistencia media	Acantilados medios/bajos sobre formaciones sedimentarias de alta erodibilidad	Playas extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales poco elevadas	Playas adosadas a formaciones de islas-barrera, tómbolos, flechas litorales, deltas, etc. También sectores que protegen formaciones de marismas mareales o fluvio-mareales

Cálculo y clasificación de la variable: “pendiente” (sustituida por “índice topográfico”, TOPO)

La aplicación del CVI por el USGS para los Parques Nacionales costeros de USA (con una escala más parecida a la de la costa andaluza que la aplicación a escala nacional), utiliza para el cálculo de la pendiente regional una matriz numérica (grid) de elevaciones (MDE de 90 metros aproximadamente de resolución espacial) que se extiende 10 km. hacia el interior y hacia mar abierto. Posteriormente se calcula la pendiente media para un radio de 10 km. y se remuestran los resultados a 1 minuto de resolución. Para el cálculo de esta variable en las costas de Andalucía era necesario, por lo tanto, la disponibilidad de un MDE, tanto de las tierras emergidas como del relieve sumergido.

En una primera fase se elaboró un **MDE conjunto remuestreado a 40 metros** de resolución espacial que integraba el Modelo Digital del Terreno de Andalucía extraído por estéreo-correlación y con 10 de resolución espacial (Junta de Andalucía, 2005) para las zonas emergidas, junto al Modelo Digital de Elevaciones del relieve marino (100 metros de resolución espacial), incorporado al SIGLA y elaborado a partir de las curvas batimétricas de las cartas náuticas de Andalucía (escalas medias: aproximadamente 1:50.000). A partir de él se aplicó el método original del USGS, reduciendo el ámbito de influencia a **5 km.** para el cálculo de la pendiente media de cada punto de la costa andaluza (equidistancia **200 metros**). Los resultados arrojaron dos evidencias: Por una parte, el resultado obtenido no permitía matizar mucho espacialmente, ya que el ámbito de influencia de 5/10 km. no hacía posible discriminar la presencia de pequeñas ensenadas, marismas, deltas y valles, en nuestro caso, las áreas de una mayor vulnerabilidad potencial; por otra parte, la mezcla de MDEs de tan diferente calidad en cuanto a precisión nos parecía un gran riesgo.

Dado que el argumento conceptual de la elección de esta variable es que la pendiente de un sector costero puede incrementar la vulnerabilidad (potencial inundación y velocidad de retroceso costero) en el sentido de **menor pendiente, mayor vulnerabilidad** y, por otra parte, dado que todas las tasas históricas del nivel relativo del mar en Andalucía son positivas (ver variable cambios del nivel de mar) y es esperable que la contribución del cambio climático intensifique la tendencia en el mismo signo, intentamos **modificar la metodología** en los siguientes aspectos:

1.- Por una parte, en vez de utilizar el área de influencia para el cálculo de la pendiente media con un buffer circular (10 o 5 km.), definimos el ámbito de análisis a través de un **rectángulo de 200m de ancho transversal a la costa** y generado a partir de una línea perpendicular a aquella.

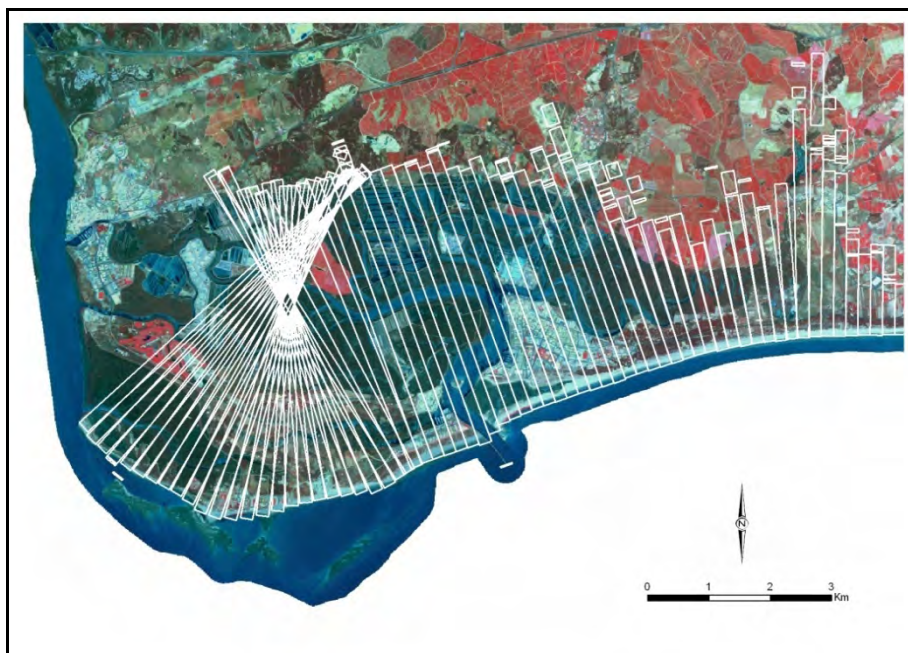


Figura 1. Representación de los rectángulos ortogonales a la costa y su penetración hacia el límite interior definido por las zonas con alturas inferiores a 10 metros (píxeles del MDE de 10 m. de resolución) conectadas con la línea de costa actual.

2.- Dado que no es esperable, ni en los escenarios más pesimistas para el próximo siglo, subidas del nivel del mar superiores a **10 metros**, consideramos que sólo es interesante la pendiente media de los terrenos emergidos inferiores a esa altitud que, además, tengan **conexión** con la línea de costa actual.

Esto obligaba a un tratamiento del Modelo Digital del Terreno de Andalucía (10 metros de resolución espacial) que permitiese la extracción de los **terrenos inferiores a 10 metros** y que respetase las características anteriormente comentadas (**contigüidad con las aguas marinas**). Finalmente, para cada rectángulo, ortogonal a cada punto de la línea de costa (equidistantes 200 m.), se extraen del MDE tres valores:

- **La Distancia “D”** hacia el interior derivada del número de celdillas del MDE (o su expresión como superficie) que cumplen las condiciones referidas (<10 metros y continuidad espacial con la costa actual). Este parámetro es un indicador del alcance tierra adentro de una potencial subida del nivel del mar. Dos polígonos rectangulares pueden tener la misma pendiente y altura media y, sin embargo, uno puede afectar sólo 100 m. tierra adentro y otro 2000 m. A mayor penetración, mayor vulnerabilidad.

- **La pendiente media “P”** de las celdillas que cumplen las condiciones antes apuntadas para cada polígono: bajo iguales condiciones de penetración hacia el interior y altura media, a menor pendiente mayor vulnerabilidad.

- **La altura media “A”** de las celdillas que cumplen las condiciones antes apuntadas para cada polígono: podríamos tener dos polígonos con igual pendiente y penetración hacia el interior, pero uno sobre una superficie elevada 4 metros sobre el nivel medio del mar y otro a 2 metros: a menor altitud, mayor vulnerabilidad.

Cada uno de ellos se clasifica con valores de 1 a 5 de la siguiente manera:

Tabla 2. Clasificación de las variables que componen la variable “índice topográfico”.

VARIABLES	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
Valor clasificado	1	2	3	4	5
D (m)	[0, 250]	(250, 500]	(500, 1000]	(1000-3000]	(3000, máx.]
P (%)	(8, máx.]	(4, 8]	(2, 4]	(1, 2]	[0, 1]
A (m)	(8, máx.]	(6, 8]	(4, 6]	(2, 4]	[0, 2]

Finalmente se elabora un **índice topográfico** (TOPO) como la media aritmética de los tres valores, cuyo resultado se clasifica de 1 a 5:

$$TOPO = \frac{D + P + A}{3}$$

Cálculo y clasificación de la variable: “tasas de cambio de la línea de costa” (ERO)

El cálculo de tasas de cambio en la línea de costa ha constituido uno de los temas clásicos en geomorfología costera (Ojeda, 2000; Boak and Turner, 2005) y, de hecho, muchos trabajos de estas características han sido realizados sobre diferentes tramos de la costa de Andalucía (Viciano, 1998; Del Río, 2007), si bien ninguno de ellos recoge la totalidad de la costa andaluza. Dadas las características de estos estudios, muy deudores en sus resultados de las fechas de los documentos de referencia utilizados (cartas náuticas, mapas topográficos y, sobre todo, fotografía aérea...), del indicador que se utilice como “línea de costa” y del rango temporal utilizado, se adoptó la decisión de realizar este cálculo *ex novo* por los autores de la presente comunicación. Se seleccionaron las siguientes fuentes de información:

- El **Vuelo “americano” del 1956**. La elección de este vuelo está justificada por ser la referencia fotogramétrica más antigua para la que existe un recubrimiento total de la costa andaluza. Adicionalmente, la reciente elaboración por parte de la Junta de Andalucía de una serie de ortofotografías para este vuelo, eliminaba el problema inherente a los ajustes geométricos necesarios de los fotogramas (escala aproximada 1:30.000) para los procesos de digitalización. La ortofoto tiene una resolución espacial de 1 metro.

- La **Ortofotografía Digital de Andalucía del 2001** (0.5 metros de resolución espacial) elaborada por la Junta de Andalucía.

- La **Ortoimagen QuickBird de la costa de Andalucía del 2005**, recientemente editada por el Instituto Cartográfico de Andalucía –ICA– con una resolución espacial de 0.7 metros.

Para cada una de estas fechas se procedió a la digitalización de las líneas de costa utilizando, con carácter prioritario, el criterio de *línea de costa estable* (límite entre la playa alta –*backshore*–/duna costera –*foredune*–, o bien la base del acantilado) siempre que fuese posible. Sólo cuando este límite fue imposible de interpretar se utilizó el criterio de “*marca húmeda*” de la *pleamar* (un criterio de más difícil interpretación en el atlántico –mesomareal– que en el mediterráneo –micromareal–). Para los procesos de digitalización y cálculo de las tasas de erosión se utilizó la extensión para ArcGIS 9.2 “DSAS” *Digital Shoreline Analysis System* (<http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/dsas/>), de forma similar a su utilización por el USGS de USA. Finalmente se procedió a la clasificación de las tasas calculadas y a la asignación de valores entre 1 y 5, utilizando los rangos comúnmente establecidos para el CVI por el USGS:

Tabla 3. Clasificación de la variable “tasas de cambio de la línea de costa”.

VARIABLES	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
Valor clasificado	1	2	3	4	5
ERO (m/año)	(2, máx]	(1, 2]	(-1, 1]	(-2, -1]	[mín., -2]

Cálculo y clasificación de la variable: “oleaje significativo medio” (HS)

Dada la necesidad de espacialización de este parámetro (oleaje significativo medio –HS–) para su incorporación al CVI se procedió a un análisis de la información disponible, comenzando por la recogida por “Puertos del Estado”. Dicho organismo es el responsable del mantenimiento de la red de boyas de medición de aguas profundas y aguas someras para el estado español. En el mismo nos informaron de la diversidad en los datos originales, así como de la complejidad de su tratamiento de cara a los objetivos del CVI. Por ello, nos propusieron utilizar los datos procedentes del proyecto HIPOCAS que ya habían sido utilizados y calibrados por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria (2007) de cara a la elaboración del proyecto “Impactos en la Costa Española por efecto del Cambio Climático” para el ministerio de Medio Ambiente.

Para la incorporación a la *geodatabase* del CVI y el tratamiento integrado de estos datos con el resto de variables se procedió a realizar una interpolación lineal de los datos puntuales obtenidos de dicho proyecto sobre una línea de costa suavizada. Este proceso permitió, posteriormente, asignar un valor medio para cada tramo de 200 metros. Estos datos medios fueron finalmente clasificados de 1 a 5 a partir de los siguientes intervalos:

Tabla 4. Clasificación de la variable “oleaje significativo medio”.

VARIABLES	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
Valor clasificado	1	2	3	4	5
HS (m.)	(0, 0.75]	(0.75, 0.85]	(0.85, 0.95]	(0.95, -1.05]	(1.05, 1.15]

Finalmente, los valores de esta variable se revisaron para las zonas protegidas del oleaje en los sectores de estuarios (Tinto-Odiel, Piedras, etc.) y bahías parcialmente protegidas (Algeciras y Bahía Exterior de Cádiz), debido a su procedencia de boyas y la modelización del oleaje en aguas profundas.

Cálculo y clasificación de la variable: “tasas de cambio del nivel relativo del mar” (LEV)

La variable ligada a las oscilaciones del nivel del mar es, quizás, una de las más complejas de integrar en el CVI. El USGS de USA utiliza las tasas extraídas de los registros medidos por los mareógrafos presentes en el área de estudio (nivel relativo del mar). No precisa muy bien como se lleva a cabo el proceso de espacialización de esta variable cuando en la zona de estudio se encuentran varios mareógrafos, aunque en comunicación personal de R. Thieler (autor de muchos estudios de aplicación del CVI para el USGS) en Málaga, se nos informó de que se realizaba una interpolación lineal. Aún siendo conscientes que este procedimiento puede conllevar un alto grado de imprecisión (variabilidad regional del nivel del mar, límites netos entre sectores con comportamiento tectónico diferente, etc.), se optó por aplicar este método en esta comunicación, con carácter preliminar, dado su enfoque metodológico.

Aunque en la costa de Andalucía están instalados un número elevado de mareógrafos, los únicos adecuados para esta variable son los que disponen de series temporales suficientemente largas (superiores a 30 años). Adicionalmente es necesario subrayar que, para el cálculo de las tasas existe en la actualidad un complejo

debate científico sobre el tratamiento estadístico de las series, cuyo alcance sobrepasa los objetivos de esta comunicación. Siendo conscientes de ello, y dado el objetivo metodológico de este trabajo, se han utilizado finalmente los datos de los mareógrafos proporcionados por el PSMSL (*Permanent Service for Mean Sea Level*), es decir, las series temporales con periodicidad mensual correspondientes a 6 mareógrafos: Lagos, Cádiz, Tarifa, Algeciras, Málaga y Alicante. Para la obtención de la tasa de cambio del nivel relativo del mar en cada mareógrafo se ha realizado un clásico análisis de regresión temporal de cada una de las series anuales de niveles medios del mar procedentes de la corrección y tratamiento (interpolación de las lagunas en las series temporales, cálculo de los valores medios anuales) de cada una de las series mensuales originales del PSMSL.

Para la incorporación a la *geodatabase* del CVI y su integración con el resto de variables (todos los mareógrafos arrojan tasas positivas o cercanas a 0) se realizó una interpolación lineal de los datos puntuales (mareógrafos) sobre una línea de costa suavizada. Estos datos fueron utilizados para asignar a cada tramo de 200 metros de línea de costa un valor entre 1 y 5, a partir de los siguientes intervalos contemplados en la metodología del CVI:

Tabla 5. Clasificación de la variable “tasas de cambio del nivel relativo del mar”

VARIABLES	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
Valor clasificado	1	2	3	4	5
LEV (mm/año)	(0, 1.8]	(1.8, 2.5]	(2.5, 3.0]	(3.0, 3.5]	(3.5, máx.]

Cálculo y clasificación de la variable: “rango mareal medio” (TID)

La costa andaluza presenta dos fachadas claramente diferenciadas en cuanto a su comportamiento mareal. La fachada atlántica es claramente mesomareal, con rangos mareales medios en mareas vivas próximos a 2.5/3 metros, mientras que la mediterránea es micromareal, cuyos valores están siempre muy por debajo de 1 metro. La costa del Estrecho de Gibraltar se presenta como zona de transición entre ambos ámbitos.

El organismo que aporta un mayor volumen de información para esta variable en la zona de estudio es Puertos del Estado. Esta institución ha desarrollado durante los últimos años el sistema NIVMAR, que predice los niveles del mar esperables con unos pocos días de antelación. El sistema de predicción utilizado es el resultado de la combinación de la simulación de variables meteorológicas y oceanográficas. Una parte de la simulación de las variables oceanográficas está compuesta por un modelo del comportamiento de la marea, que ofrece una gran densidad de puntos para el litoral atlántico andaluz. Para este trabajo se asume que el valor medio del rango mareal está asociado a un coeficiente de marea de 0.7, por lo que con la identificación de los días con coeficiente mareal de 0.7 en la base de datos de Puertos del Estado es posible obtener una primera aproximación al rango mareal medio para cualquier mareógrafo de los disponibles en este organismo.

Para la incorporación a la *geodatabase* del CVI y su integración con el resto de variables se tuvo que realizar igualmente una interpolación lineal de los datos puntuales (asociados a los mareógrafos utilizados) sobre una línea de costa suavizada. Estos datos fueron inicialmente clasificados de 1 a 5, a partir de los siguientes intervalos contemplados en la metodología del CVI:

Tabla 6. Clasificación de la variable “rango mareal medio”

VARIABLES	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
Valor clasificado	1	2	3	4	5
TID (m.)	(6, máx.]	(4, 6]	(2, 4]	(1, 2]	[0, 1]

Cálculo y clasificación del CVI para la costa de Andalucía

El CVI calculado para la costa andaluza, siguiendo la metodología del USGS, proporciona la posibilidad de relacionar las 6 variables asignadas a cada tramo de 200 m. de forma cuantitativa, para expresar su vulnerabilidad relativa en relación a los cambios físicos que sufriría la costa ante la potencial subida del nivel del mar. Es necesario recordar de nuevo que, aunque este método proporciona los resultados de forma numérica, éstos no deben interpretarse como directamente asociados a cambios físicos específicos. Sin embargo, si muestran donde los combinados efectos del nivel del mar serían mayores.

Como ya apuntamos en la introducción, una vez que las 6 variables han sido asignadas a cada tramo de costa (clasificadas de 1 a 5), es posible integrarlas a través de una ecuación que se expresa como la raíz cuadrada del producto de las 6 variables -clasificadas- dividido por el número de variables:

$$CVI = \sqrt[2]{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}}$$

El valor del CVI calculado es posteriormente dividido en 4 clases (en algunas ocasiones se utilizan 5) utilizando como límites los percentiles 25%, 50% y 75%. La utilización de percentiles es la forma de ordenar los resultados de la vulnerabilidad, es decir, de esta forma podemos identificar los tramos según su vulnerabilidad relativa sin que el valor en sí mismo del CVI se asocie a cambios específicos de tipo físico. Los resultados del CVI arrojan unos valores entre 2,23 y 35,35. Los rangos para la clasificación de la vulnerabilidad total calculada por este índice son los siguientes:

Tabla 7. Clasificación del CVI.

VARIABLES	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
Vulnerabilidad clasificada	1	2	3	4
Valor del CVI	(2.23, 6.32]	(6.32, 10.00]	(10.00, 14.14]	(14.14, 35.35]

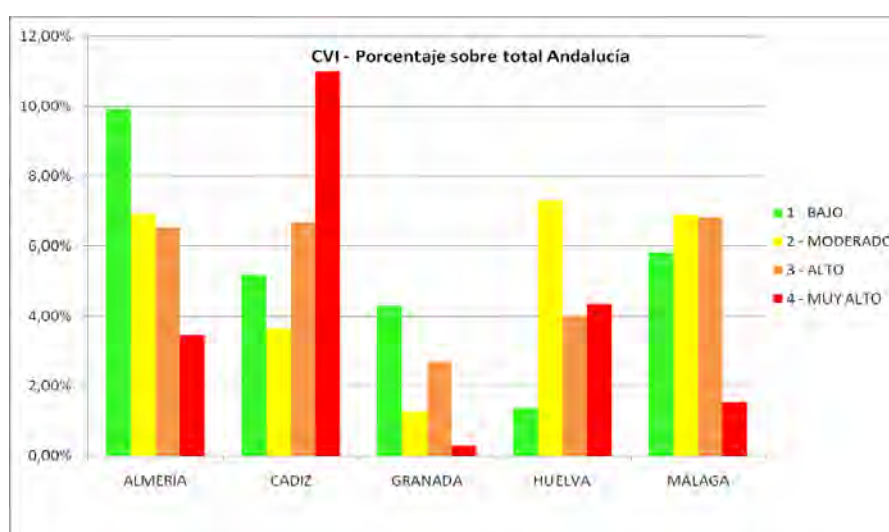


Figura 2. Presentación estadística de los resultados agregados a nivel provincial. Elaboración propia.

CARTOGRAFÍA DEL CVI Y CONCLUSIONES

Los resultados de la aplicación de esta metodología, al ser generados a partir de una *geodatabase* y la utilización de las diferentes técnicas de análisis espacial que facilitan los SIG, pueden finalmente ser expresados de forma estadística (figura 2), asociándolos a diferentes entidades (municipios, provincias, espacios protegidos, etc.) o cartográfica (mapas en papel, vistas tridimensionales, servicios OGC, etc.). La incorporación de los datos a una base de datos espacial (*geodatabase* de ESRI en este caso) facilita todas las labores de gestión y actualización de los mismos y el control interactivo de las ponderaciones, así como la simulación inmediata de diferentes criterios de ponderación para la elección de los umbrales definitivos. En este sentido, la herramienta *Model Builder* ha sido de gran utilidad para integrar y simular el algoritmo de cálculo definitivo a partir de los tramos de 200 metros que constituyen la referencia espacial más desagregada espacialmente para el cálculo del mismo (figura 3).

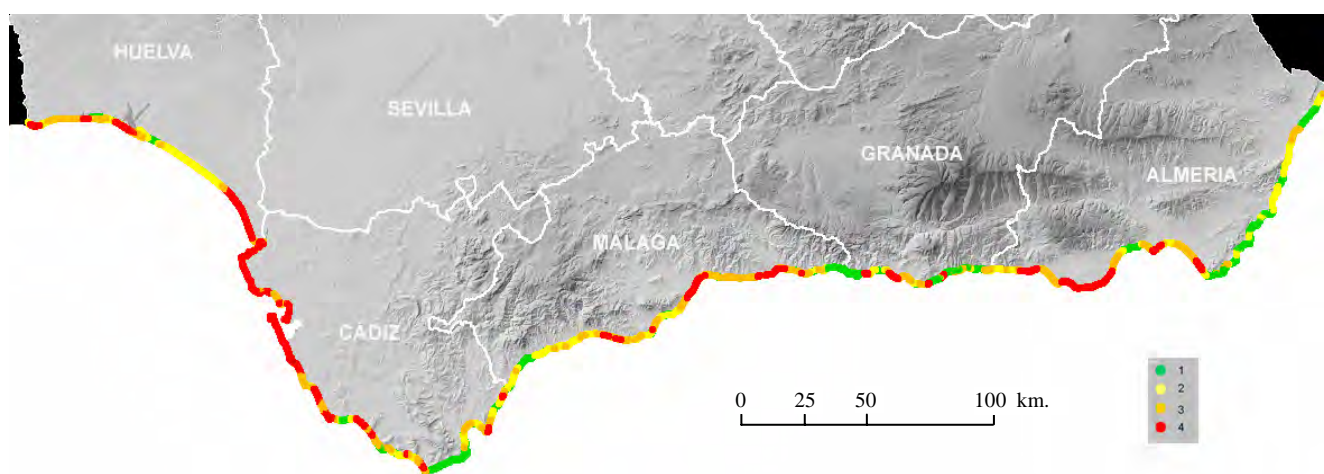


Figura 3. Representación del CVI total para Andalucía, asociado a puntos que representan 200 metros de línea de costa (1 bajo; 2 moderado; 3 alto y 4 muy alto). Elaboración propia.

Igualmente, facilita las labores de representación cartográfica si se elige el método de representación utilizado por el USGS, ya que, como puede observarse en la figura 4, para todas las variables y el cálculo total de vulnerabilidad, se adopta una representación de rectángulos exentos y paralelos a la costa, que pueden ser de diferente tamaño según la escala (500, 1000, 2000 ó 5000 metros de longitud según la extensión del ámbito elegido). Las relaciones de cardinalidad entre “puntos originales” –asociados a tramos de 200 m. de costa- y “rectángulos de representación” establecidas en la *geodatabase* facilitan su cálculo, así como la asignación del valor medio a los rectángulos de la representación cartográfica, cualquiera que sea el tamaño y escala elegidos.

Adicionalmente, la potencialidad gráfica del visor tridimensional desarrollado para el SIGLA (Ojeda y Tordera, 2006) ofrece un amplio abanico de representaciones cartográficas, e incluso se está desarrollando una versión para el acceso por Internet. Esta representación simplificada, a base de rectángulos de diferente tamaño (aunque el cálculo original se realiza sobre cada tramo de 200 metros de línea de costa), nos parece acertada, ya que el CVI constituye un índice relativo, esencialmente pensado como un primer análisis preliminar que permita tomar decisiones a nivel “estratégico” y “orientativo” sobre las zonas de mayor vulnerabilidad, las cuales, posteriormente, pueden ser objeto de análisis más detallados y específicos sobre riesgos.

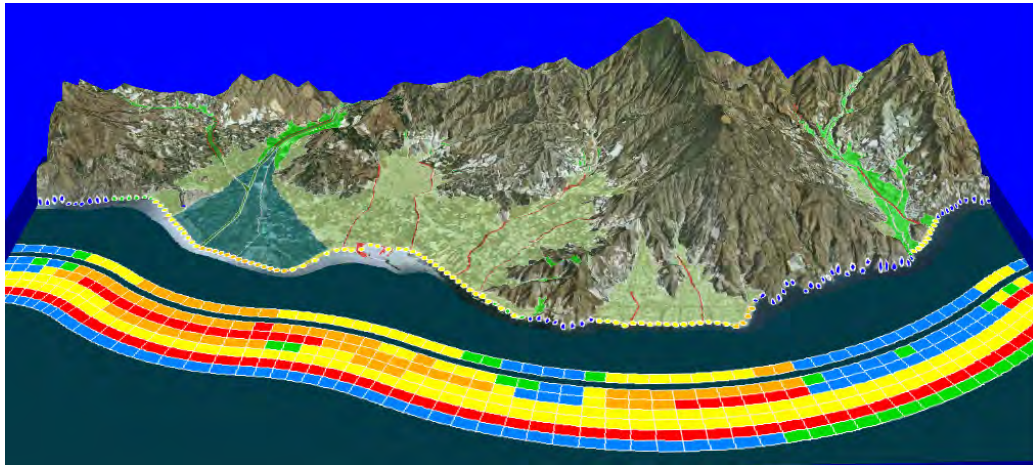


Figura 4. Representación tridimensional de los resultados para un sector de la costa mediterránea de Andalucía realizada con el Visor del SIGLA que integra un MDE, una ortofoto y las unidades fisiográficas costeras. Los puntos representan el cálculo original del CVI (5 percentiles en este caso) sobre cada tramo de 200 metros de la línea de costa. La primera fila de rectángulos representa la media del CVI para tramos de 500 metros y las otras 6 filas de rectángulos el valor medio para cada una de las 6 variables clasificadas entre 1 y 5 (azul, verde, amarillo, naranja y rojo). Elaboración propia.

Es conveniente no confundir, en este sentido, el concepto de vulnerabilidad utilizado en este Índice con el concepto de vulnerabilidad asociado clásicamente a la evaluación de riesgos, ya que éstos conllevan el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno (peligrosidad natural) multiplicado por su “vulnerabilidad” (exposición x evaluación de daños). A diferencia de este enfoque, en este caso no se calcula la probabilidad de ocurrencia, y lo que es más importante, no se cartografían de forma detallada las áreas afectadas (condición necesaria para el cálculo de la exposición y daños). Con este índice se intenta evaluar, en una primera aproximación, la *sensibilidad* de cada sector costero ante una potencial subida del nivel del mar y su *capacidad de adaptación*, utilizando para ello un conjunto de variables físicas y geológico/geomorfológicas. Éste es el motivo por el que se utiliza un sistema de representación de los resultados que no identifican sobre la superficie costera emergida el nivel de vulnerabilidad sino que cada nivel de *vulnerabilidad relativa* se asocia a un tramo costero (de diferente magnitud según la escala de estudio). Es necesario subrayar igualmente que en esta metodología no se evalúa la vulnerabilidad a fenómenos extremos (temporales, tsunamis, etc.).

AGRADECIMIENTOS

Los resultados de esta comunicación proceden del proyecto de investigación “Análisis de la vulnerabilidad de la costa de Andalucía ante una potencial subida del nivel del mar” financiado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boak, E.H., y Turner, I.L. (2005): Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*, 21 (4): 688-7003.
- Del Río Rodríguez, L. (2007): *Riesgos de erosión costera en el litoral atlántico gaditano*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz.

- Gornitz, V. y White, T.W. (1992): *A coastal hazards database for the U.S. West Coast*. ORNL/CDIAC-81, NDP-043C, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- Gornitz, V.M., Daniels, R.C., White, T.W., y Birdwell, K.R. (1994): The development of a coastal vulnerability assessment database; vulnerability to sea-level rise in the U.S. southeast. *Journal of Coastal Research*, SI 12: 327-338.
- Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas –Universidad de Cantabria–, (2007): *Impactos en la costa española por el cambio climático (Fase III: Estrategias frente al cambio climático en la costa)*. Ministerio de Medio Ambiente (CD).
- Junta de Andalucía (2005): *Modelo Digital del Terreno de Andalucía*. Junta de Andalucía. Aplicación informática en DVD.
- Hammar-Klose, E.S., y Thieler, E.R. (2001): *Coastal vulnerability to sea-level rise, a preliminary database for the U.S. Atlantic, Pacific, and Gulf of Mexico coasts*. U.S. Geological Survey, Digital Data Series DDS-68, 1 CD: <http://pubs.usgs.gov/dds/dds68/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): *Climate Change*. Fourth Scientific Assessment: www.ipcc.ch
- Ojeda Zújar, J. (2000): Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuestas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 30: 103-119.
- Ojeda Zújar, J. (2003): Las Costas Andaluzas. En: Antonio López Ontiveros (Coord.), *Geografía de Andalucía*. Ed. Ariel, pp. 118-135.
- Ojeda Zújar, J. (2005): El mapa fisiográfico del litoral de Andalucía. En: *Atlas de Andalucía, Tomo II: Cartografía Ambiental*. Consejería de Obras Públicas y Transporte y Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, pp. 241-259 (5 hojas a escala 1:200.000).
- Ojeda Zújar, J. y Cabrera Tordera, A. (2006): Utilidades y funcionalidades de un visor tridimensional interactivo en la gestión litoral (SIGLA: Sistema de Información Geográfica del Litoral de Andalucía). *Cuadernos Geográficos*, 39 (2): 41-52.
- Shaw, J., Taylor, R.B., Forbes, D.L., Ruz, M.H., y Solomon, S. (1998): Sensitivity of the Canadian coast to sea-level rise. *Geological Survey of Canada Bulletin* 505, 114 pp.
- Viciano Martínez-Lage, A. (1998): *La erosión antrópica en las acumulaciones sedimentarias del litoral almeriense*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- Zazo, C. y Goy, J.L. (2000): Cambios eustáticos y climáticos durante el Cuaternario. Una síntesis sobre su registro en los litorales del sur y sureste de la Península, Islas Canarias y Baleares. En: J. R. de Andres y F.J. Gracia (Ed.), *Geomorfología Litoral. Procesos activos*. ITGME, pp. 187-206.

Peña Alonso, Carolina (2008): Análisis de peligrosidad y vulnerabilidad de la zona de Baqueira y Beret. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 672-679. ISBN: 978-84-96971-53-0.

ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD Y VULNERABILIDAD DE LA ZONA DE BAQUEIRA Y BERET

Peña Alonso, Carolina

Estudiante del último curso de la Licenciatura de Geografía por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB). C\Córcega, 687, Pral 1ª. C.P.: 08026. Barcelona. España. cpenaalonso@hotmail.com

RESUMEN

Baqueira y Beret es una zona caracterizada por haber sido transformada paisajísticamente a partir del establecimiento de una serie de servicios deportivos, los cuales, han generado que impere la ocupación turística ligada al deporte de esquí en la actualidad, lo que ha dado lugar a la plasmación en el territorio de grandes proyectos de viviendas asociadas a dicha actividad. Es por ello, que la zona se encuentra expuesta a una serie de peligros naturales que afectan directamente a la población residente y a los turistas y deportistas que visitan la zona. Mediante el análisis cartográfico digital se ha podido averiguar a que peligros se enfrenta la población y cual sería el grado de incidencia de dichos procesos. Los aludes y los movimientos en masa y la falta de compactación del material donde se localizan las infraestructuras de mayor peso.

Con un análisis de este tipo se puede advertir a la población de la situación de peligro en la que se encuentra y también se quiere incidir en el hecho de tomar una consciencia previsor por parte de los agentes constructores con la finalidad de minimizar los daños personales y materiales.

Palabras clave: Riesgos naturales, Transformación paisajística, urbanización.

ABSTRACT

Baqueira y Beret is an area characterized by having been transformed landscapely from the store of a series of sport services sporting, which have generated that the touristic occupation tied up with the sport of skiing at present reigns, which has given rise to the materialization in the territory of great projects of houses associated to this activity. For this reason this area is exposed to some natural dangers that affect directly the resident population and the tourists and sportsmen who visit the area. Through the digital cartographic analysis it has been able to be found out to the population being confronted by dangers and which would be the degree of incidence of these processes. The avalanches and the mass movements and the lack of compaction of the material where the infrastructures of biggest weight are located.

With an analysis of this type it can be warned to the village of the situation of danger in which it is and it is also wanted to affect the fact that it takes a far-sighted consciousness on the part of the building agents with the aim of minimizing the bodily injuries and materials.

Key words: Natural risks, landscape transformation, residential development.

INTRODUCCIÓN

En la última década se han publicado muchas obras basadas en el análisis de riesgos naturales relacionados con movimientos en masa, se ha incidido bastante en los conceptos que acatan a cada uno de ellos, así como en el proceso que los desata y las características de los componentes o variables que son necesarios para que este se

de. La realidad es que este tipo de estudios no centra del todo su atención en la relación existente entre el riesgo derivado de estos procesos naturales, con la población, con su seguridad, y con la pérdida de vidas y de bienes económicos. Es probable que la falta de análisis de este tipo no se hayan realizado en profundidad por la falta de claridad a la hora de aplicar los conceptos de relacionados. Existen varias interpretaciones de los mismos y esto puede acarrear confusión. Por ello, antes de comenzar con el análisis de la zona de estudio es conveniente aclarar en que nos basamos y de que manera se explicará.

Es quizás, a partir de la evolución de los SIG cuando comienzan a realizarse estudios de riesgo con alta precisión. La georreferenciación, el análisis global, la puesta en común de los diferentes factores influyentes en el proceso, las herramientas que ofrecen los software, y la teledetección, son herramientas de alto potencial para el análisis territorial de manera amplia, interrelacionada y detallada.

La zona de estudio es el área recreativa de Baqueira y Beret. Se trata de una estación de esquí localizada en los Pirineos, en la comarca del Valle de Arán, Provincia de Lérida. La cota más elevada es de 2.510 metros, en el Cap de Baqueira, y su cota más baja es de 1.500m.

En este aspecto, se ha considerado que el SIG y la teledetección serán las herramientas fundamentales para el estudio de las zonas de riesgo existentes en Baqueira y Beret. El programa utilizado para la gestión de las capas georeferenciadas ha sido MIRAMON.

Estas zonas de peligro, se dividen en tres grupos: zonas de peligrosidad de aludes, de desprendimientos, y de movimientos en masa superficiales. Todos estos factores son los que afectan a las zonas pobladas, como las urbanizaciones, o frecuentadas, como las pistas de esquí.

Se analizará la peligrosidad, como la probabilidad de que un determinado fenómeno natural, de una cierta extensión, intensidad y duración, con consecuencias negativas para los humanos, se produzcan. Todo ello, con el fin de llegar a un mapa final de riesgos graduados que abarquen, dentro del área de estudio, la interrelación entre la vulnerabilidad y la peligrosidad. De esta manera se podrá llevar a cabo una prevención a la hora de futuras planificaciones territoriales que tengan planeada la instalación de infraestructuras de diferentes tipologías atendiendo al grado de peligrosidad.

METODOLOGÍA

El objeto de estudio es el análisis de riesgo para las infraestructuras y edificaciones en el área de estudio a partir de la elaboración de mapas de riesgo mediante Sistemas de Información Geográfica.

En primer lugar, se decidió que el área de estudio sería el área recreativa de Baqueira y Beret, que sería delimitada a partir del perímetro elaborado a partir de las crestas de valle que incluyen las pistas de esquí y las urbanizaciones más importantes del valle.

En segundo lugar, se analizaron los peligros potenciales existentes para poder ser relacionados con las infraestructuras. Los peligros elegidos para el análisis fueron, los Aludes, los desprendimientos y los sustratos poco compactos.

Análisis de los Aludes

Los aludes se caracterizan por ser movimientos en masa ligados a la fuerza gravitacional propio del sistema nival. Se trata de deslizamiento de nieve, hielo (compuestos indisolubles) y en ocasiones roca, que se desplaza con carácter gravitacional con flujo laminar o turbulento al romperse el equilibrio entre las fuerzas de empuje y resistencia.

El texto del artículo se estructurará, de modo orientativo, en los siguientes títulos: introducción y/o antecedentes, zona de estudio, metodología, resultados, discusión y conclusiones.

La interrelación de las variables que dan como resultado el mapa potencial de peligrosidad de aludes es la siguiente: Mapa de insolación, Mapa de Precipitaciones Medias Anuales, Mapa de Vientos Medios Anuales, Modelo digital de pendientes, Mapa de temperaturas Medias Anuales, Mapa de Vegetación de la zona.

Cada una de estas capas de información se ha clasificado en tres grados de peligrosidad y luego se han puesto en común. El resultado ha sido un mapa con múltiples categorías que se ha vuelto a clasificar en tres categoría finales (alta, media y baja peligrosidad).

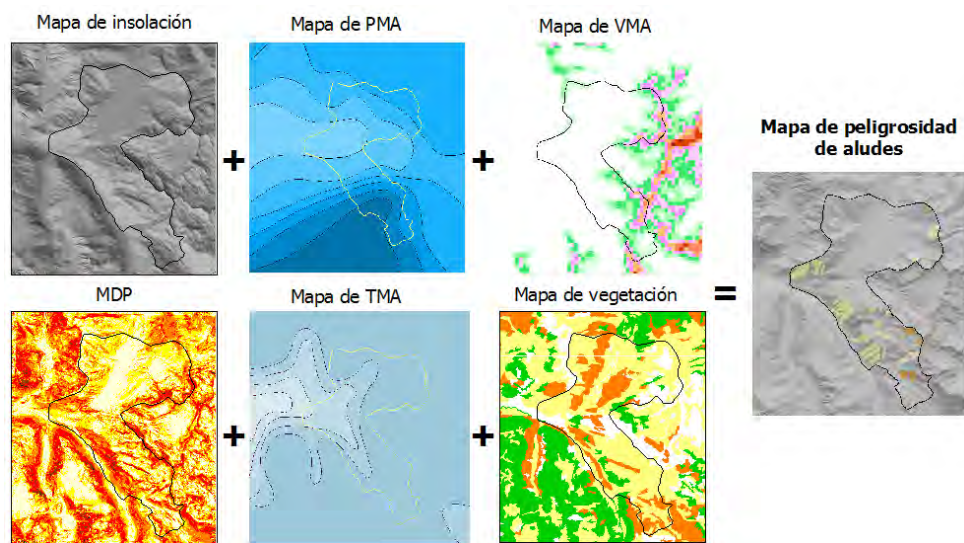


Figura 1. Resultado cartográfico de la combinación de capas de información para la constitución del mapa final de peligrosidad de aludes.

Análisis de desprendimientos

Como desprendimientos se entiende un movimiento en masa producido por caída de materiales por efecto de la gravedad

$$(\text{Estabilidad de material} / \text{Gravedad}) = \text{Desprendimiento}$$

Son procesos rápidos de caída de material individualizados por planos de fractura que se deben básicamente a: discontinuidades preexistentes en el material, grietas de tracción por la tensión del material, erosión en la base por diferencia de materiales, en materiales con estratificación favorable a la estabilidad, erosión de los niveles inferiores, roturas por vuelco y grietas de desecación o de tracción.

Sabiendo, por tanto, los factores que son capaces de desencadenar el proceso, se han creado una serie de bases cartográfica que, al igual que en el caso anterior, se combinarán para llegar al mapa final de peligrosidad de desprendimientos. Las bases son: el sustrato geológico, clasificado en función de la estabilidad de los materiales (categorías finales: alto, medio y bajo), el mapa de pendientes, clasificado en alta pendiente (>65%), media (de 35 a 65%) y baja (0-35%). Y finalmente el mapa de vegetación agrupado por especies herbáceas, arbustivas, arbóreas y sin vegetación.

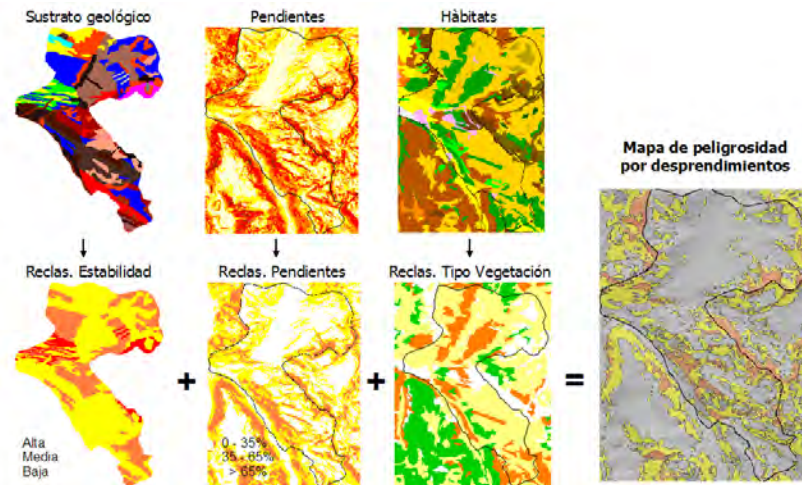


Figura 2. Resultado cartográfico de la combinación de capas de información para la constitución del mapa final de peligrosidad de desprendimientos.

Análisis de la peligrosidad asociada a la inestabilidad de los materiales

La inestabilidad de los materiales se produce por que no existe una consolidación interna del mismo. El riesgo de este tipo de peligro se encuentra, principalmente a partir de la construcción de infraestructuras, lo que podría generar problemas geotécnicos que pueden afectar a las condiciones de cimentación en esta zona. Estos problemas son, entre otros, los siguientes: Inestabilidades puntuales en zonas proximales o adyacentes a relieves montañosos de pendiente moderada a alta. Ligeros abarrancamientos. Asientos diferenciales motivados por apoyo heterogéneo de cimentaciones en terrenos de diferente naturaleza. Asientos de consolidación en términos arcillosos y con presencia de nivel freático superficial.

Para la generación de este mapa de peligrosidad se ha clasificado el mapa geológico de la zona atendiendo a aquellos materiales que no poseen una cohesión interna, tales como, material morrénico, arcilla, materiales de terrazas o fondos de valle, esquistos, etc. También se han clasificado como zona peligrosa aquella en la que existe alternancia de materiales blandos y duros, que estén expuestos a una erosión diferencial y a una caída de materiales.

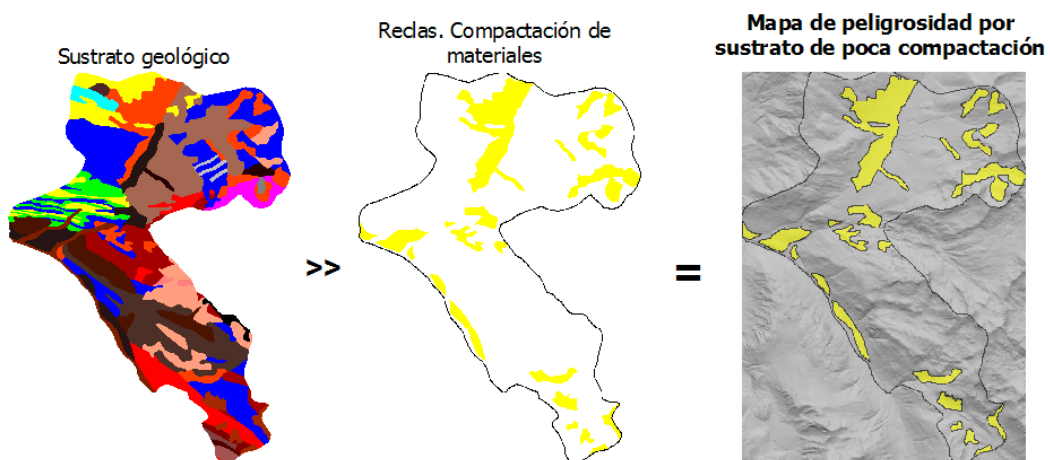


Figura 3. Resultado cartográfico de la combinación de capas de información para la constitución del mapa final de peligrosidad de estabilidad de los materiales.

Mapa de peligrosidad del área recreativa Baqueira-Beret

La combinación de estos tres mapas resultantes dará como resultado el mapa de peligrosidad final de la zona. El cual se ha tenido que clasificar con posterioridad en 12 categorías que integrarán todos los fenómenos.

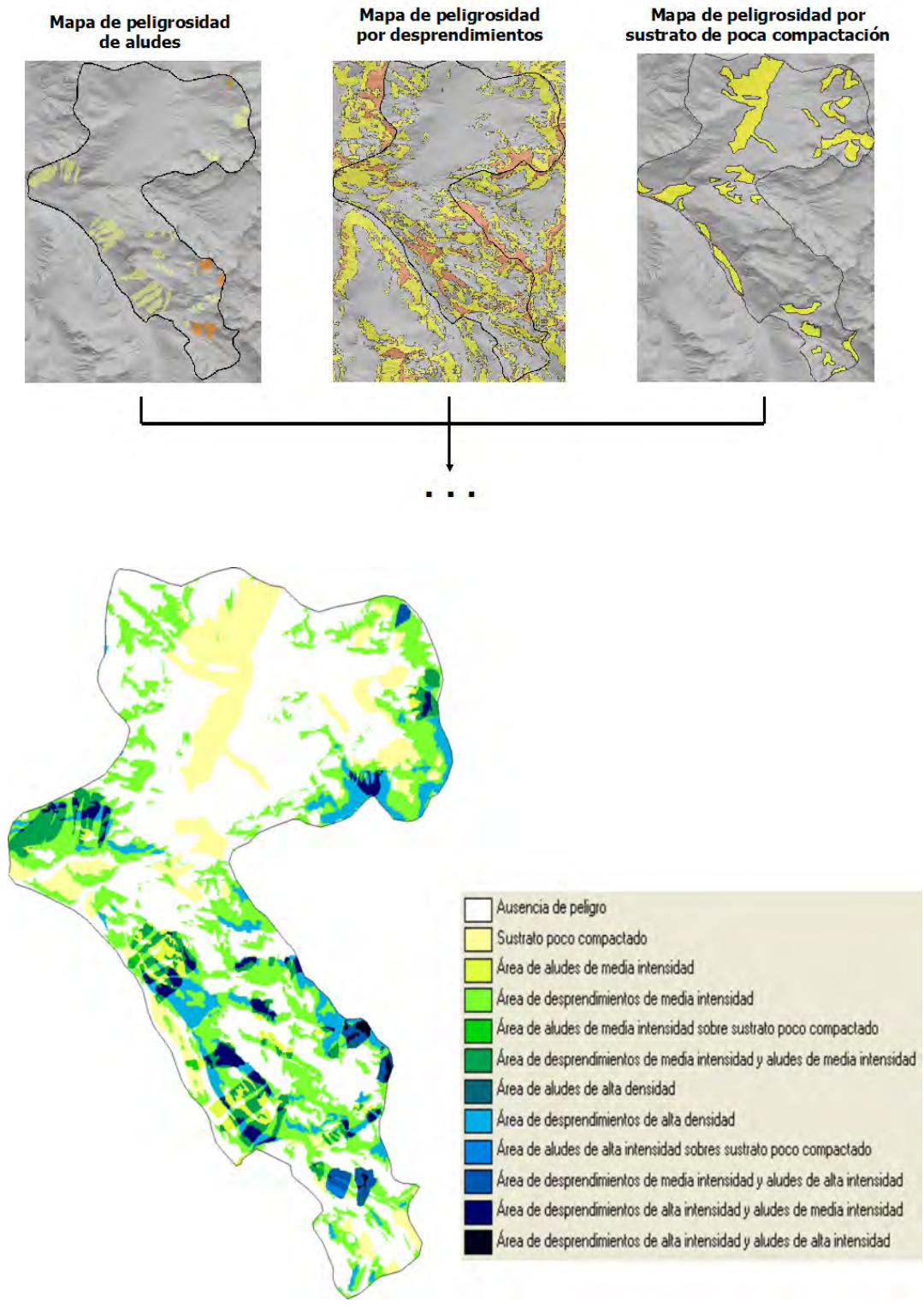


Figura 4. Resultado cartográfico final

RESULTADOS

A partir de los tres mapas anteriores se llega a una serie de conclusiones para cada uno de ellos:

Por un lado, a partir del mapa de peligrosidad de aludes hay que decir que se trataría de aludes expuestos al sur, entre 30 y 45% de pendiente. Se tendrían en cuenta los aludes de alta intensidad que afectan a la carretera de acceso a las viviendas y a las pistas de esquí. En el área de cumbres (2450m) se encuentra la zona de distensión del área nival que se ve afectada por los fuertes vientos, aumentando la peligrosidad de la zona.

Por otro lado, el mapa de peligrosidad de desprendimientos, cabe destacar que los principales telearrastres de Baqueira-Beret están ubicados sobre áreas de desprendimientos con sustratos, principalmente, compuestos por la alternancia de mármol y filitas pigalladas. Éste es un material con fácil erosión debido a la distribución de sus planos foliares y ubicados en zona de altas pendientes. La alternancia de materiales de diferentes durezas genera una situación de riesgo por erosión diferencial de los mismos.

Finalmente, a partir del mapa de peligrosidad de material poco compacto se analizaron los depósitos aluviales coluviales y gravas con matriz arenosa y arcillosa. Básicamente, el material sobre el que se sitúan estas viviendas es morrénico. Su heterogeneidad en relación al tamaño de los clastos, su estructura caótica y la falta de compactación, hacen de esta una zona no apropiada para la implantación de infraestructuras. Aparecerían en primer lugar a fisuras de poca importancia seguidas de grietas que irán aumentando su grosor. También existe peligro en el tramo viario de ascenso a las pistas, aunque en este caso el peligro es menor que el que se puede dar en el caso de la implantación de viviendas. De manera más concreta hay que destacar que este tramo la carretera circula sobre depósitos coluviales- Arcillas con clastos angulosos dispersos. En este caso no solo sería importante destacar la falta de compactación existente sino que habría que incluir también la naturaleza expansiva de las arcillas que influirá en el estado de la carretera.

Para llegar a concluir estos resultados se ha combinado el mapa final de peligrosidad con el mapa de instalaciones y viviendas. De esta manera se pudo averiguar el fenómeno y que grado de incidencia que afectaría a las zonas urbanizadas en el caso de que se desatasen.

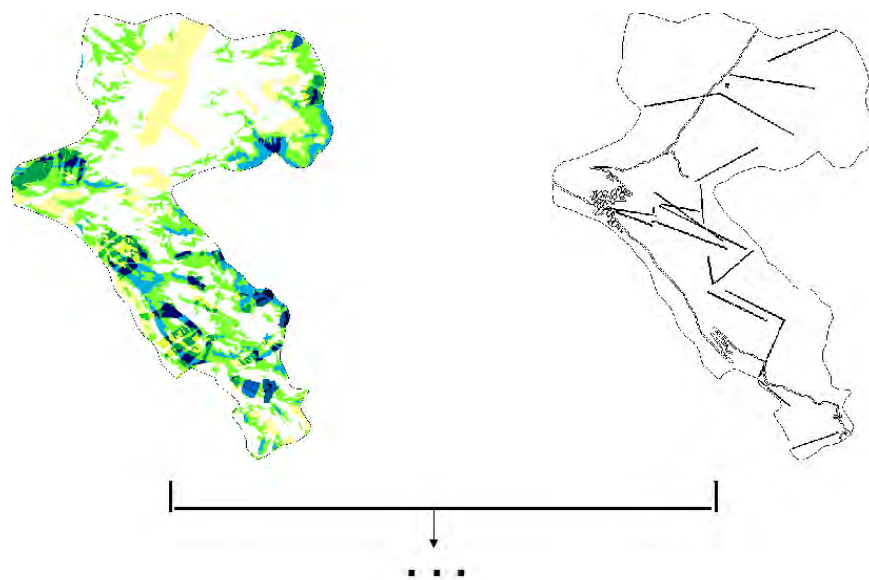


Figura 5. Combinación del mapa final de peligrosidad con el mapa de instalaciones y viviendas



Figura 6. Mapa de vulnerabilidad final

CONCLUSIONES

Después de la realización de este análisis se ha visto que gran parte de la superficie de estudio se encuentra afectada por posibles peligros, pero si no solo se tiene en cuenta la superficie como un espacio natural, sino como un espacio habitado, se puede ver que también muchas de las infraestructuras y viviendas que se encuentran dentro de este área, también se encuentran afectadas. Actualmente la zona de Baqueira y Beret se encuentra en expansión. Existen proyectos de construcción de nuevas viviendas e incluso para la expansión de área de las pistas de esquí, pero para ello no se ha tenido en cuenta un análisis previo de peligros potenciales que puedan afectar a estas obras. Quizás la rentabilidad sea mayor a un corto plazo, en el que no se lleguen a desencadenar ninguno de los fenómenos analizados.

Es necesario, por tanto, el establecimiento de una normativa que regule el análisis previo a las construcciones, y que se lleve a cabo el establecimiento de leyes para una zonificación de actividades que dependa del grado de peligrosidad. De esta manera será posible obtener una seguridad, vital en estos casos, pero a la vez se conseguirá unas instalaciones más duraderas que no impliquen pérdidas económicas de importancia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayala-Carcedo, F. J., Olcina Cantos, J y Vilaplana, J. M. (2000): *Impacto social y económico de los riesgos naturales en España en el período 1990-2000.*

Benavides Gelabert, A. (2006): *Estudio geomorfológico para el análisis de peligrosidad y riesgo por deslizamientos en la Depresión de Tirajana (Gran Canaria) aplicando los Sistemas de Información Geográfica*. Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria.

Chacón, J., Irigaray, C. y Fernández, T. (1992): Metodología para la cartografía regional de los movimientos en ladera y riesgos asociados mediante un SIG. *III Simp. Nac. Laderas y Taludes Inestables*.

Aramburu, M.P.; Cifuentes, P. et al. (1994): *Guía para la elaboración de estudios del Medio Físico: Contenido y Metodología*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid.

Laín Huerta, L. (1999): *Los sistemas de información geográfica en los riesgos naturales y en el medio ambiente*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

Vázquez Maure, F. y Martín López, J. (1995): *Lectura de mapas*. Fundación General de la U.P.M., Madrid.

Consultas Web:

El País (www.elpais.es): 7/01/2008.

IGC: Institut Geològic de Catalunya (www.igc.cat):

http://www.igc.cat/web/gcontent/ca/allaus/igc_allus_infogen.html

http://www.igc.cat/web/gcontent/es/allaus/igc_allaus_mza.html

INM: Instituto Nacional de Meteorología (www.ine.es)

Servei Meteorològic de Catalunya (www.meteo.cat)

RINAMED: Les risques naturals de l'Arc Mediterrani Occidental (www.rinamed.net):

http://www.rinamed.net/es/es_ris_main.htm

Yahoo-Geocities (www.geocities.com): <http://www.geocities.com/kalanka/index.htm>

Pérez Tacoronte, María del Pino; Llorens Cobos, Fernando; García Botella, Estela y Requena Galipienso, Alfredo (2008): Metodología para los estudios de paisaje en la comunidad valenciana. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 680-694. ISBN: 978-84-96971-53-0.

METODOLOGÍA PARA LOS ESTUDIOS DE PAISAJE EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

Pérez Tacoronte, María del Pino; Llorens Cobos, Fernando; García Botella, Estela y Requena Galipienso, Alfredo

Cota Ambiental S.L., C/ Lepanto, 22 1º B 03680 ASPE (Alicante), pino.perez@cotambiental.com; fernando.llorens@cotambiental.com; estela.garcia@cotambiental.com; alfredo.requena@cotambiental.com

RESUMEN

El paisaje se concibe como un complejo territorial que puede ser sometido a análisis teniendo en cuenta diferentes modelos de comportamiento para ellos se debe llevar a cabo el análisis integrado de cada uno de sus componentes así como de las relaciones y sinergias que se producen entre ellos.

En los últimos años se ha dado en la Comunidad Valenciana una profusión de legislación en torno a la incidencia que el desarrollo urbanístico tiene sobre el territorio; una parte de esta legislación ha estado dirigida hacia la preservación y adecuación de los paisajes.

Para el estudio del paisaje y la modelización de las distintas transformaciones que se llevarán a cabo en él se hace necesario el uso de una herramienta como los Sistemas de Información Geográfica puesto que gracias a ella se pueden obtener modelos espaciales de comportamiento territorial a través de los cuáles se logran desgranar una serie de medidas con las que estas transformaciones serán integradas en el territorio.

En este trabajo se pretende describir y delimitar el uso de esta herramienta de análisis espacial para algunas de las fases que componen la secuencia metodológica de un estudio de paisaje, presentando su aplicación a una serie de casos concretos desarrollados en la Comunidad Valenciana y presentando los resultados obtenidos en estos ejemplos..

Palabras Clave: Paisaje, análisis espacial, Sistema de Información Geográfica.

ABSTRACT

The landscape is conceived as a complex territorial may be subjected to analysis taking into account different models of behavior for them should be carrying out the integrated analysis of each component as well as relationships and synergies that occur between them.

In recent years there has been in Valencia a profusion of legislation about the impact that land development is having on the territory, a part of this legislation has been directed toward the preservation and adequacy of landscapes.

To study the landscape and modelling of the various transformations that will take place in it becomes necessary to use a tool such as geographic information systems as a result it can be obtained spatial models of territorial behavior across the what are achieved get a series of measures with which these transformations will be integrated into the territory.

This paper aims to describe and define the use of this tool of spatial analysis for some of the stages that make up the sequence of a methodological study of landscape, presenting its application to a number of specific cases developed in Valencia and presenting the results obtained in these examples.

Key Words: Landscape, Spatial Analysis, Geographic Information System

ANTECEDENTES

El Consejo de Europa, ha elaborado un acuerdo entre Estados que plantea abiertamente el derecho al paisaje. Esta nueva exigencia profundiza en una de las ideas más difundidas durante las últimas décadas del siglo XX, la aspiración a vivir en un medio digno y saludable. La Convención Europea del Paisaje, puesta a la firma entre los Estados miembros del Consejo el 20 de octubre de 2000 en Florencia, establece las líneas que definen el paisaje como “cualquier parte del territorio tal como es percibida por las poblaciones, cuyo carácter resulta de la acción de factores naturales y/o humanos y de sus interrelaciones”.

Por consiguiente, el paisaje constituye un patrimonio común de todos los ciudadanos y un elemento fundamental de su calidad de vida, que la ley 4/2004, de 30 de junio, de la Generalitat Valenciana, de Ordenación del Territorio y Protección del Paisaje aborda desde la más actual concepción del mismo emanada del propio Convenio Europeo del Paisaje. En ella se establecen medidas para el control de la repercusión que sobre el mismo tiene cualquier actividad con incidencia territorial. De esta Ley surge el Reglamento del Paisaje aprobado por Decreto 120/2006 el 11 de agosto de 2006, el cuál establece las directrices básicas para la elaboración de los Estudios de Paisaje en la Comunidad Valenciana.

Las distintas figuras de planificación que recoge la legislación se jerarquizan de la siguiente manera: Plan de Acción Territorial de Paisaje de la Comunidad Valenciana, Estudios de Paisaje, Estudios de Integración Paisajística, Catálogos de Paisaje y Programas de Paisaje.

El Plan de Acción Territorial de Paisaje identificará y protegerá los paisajes de interés regional y de relevancia local en el territorio valenciano así como establecerá una serie de directrices y criterios para la elaboración de los distintos estudios, la valoración de los paisajes y la adopción de medidas de integración paisajísticas. Este Plan se encuentra en trámites de elaboración. Los Estudios de Paisaje son los instrumentos de ordenación paisajística que tienen como función contribuir en materia de paisaje a la planificación territorial y urbanística de ámbito municipal y supramunicipal.

Mientras los Estudios de Integración Paisajística se elaboran en los siguientes casos: planeamiento de desarrollo (Planes Parciales, Planes de Reforma Interior, Planes Especiales y Estudios de Detalle), licencias en el entorno de Bienes de Interés Cultural (BIC) y Espacios Naturales Protegidos (ENP), solicitudes de Declaraciones de Interés Comunitario (DIC), licencias en Suelo No Urbanizable, proyectos con trámite de Estudio de Impacto Ambiental y proyectos de infraestructuras y obras públicas. Estos estudios valoran la incidencia en el paisaje de las actuaciones que tengan por objeto nuevos crecimientos urbanos o la implantación de nuevas infraestructuras.

Por último, se encuentran los Catálogos de Paisaje que contendrá los elementos catalogados tales como Unidades de Paisaje o Recursos Paisajísticos de especial protección y los Programas de Paisaje que concretan las actuaciones para garantizar la preservación, mejora y puesta en valor de los paisajes que por su valor natural, visual, cultural o urbano requieren intervenciones específicas. Estos Programas pueden ser de Restauración Paisajística o de Imagen Urbana.

Dentro de este Reglamento se definen los principales objetivos de los Estudios de Paisaje o de los de Integración Paisajística entre los que figuran los siguientes:

- La definición de Unidades Homogéneas de Paisaje
- La identificación de elementos claves en la percepción del paisaje.
- El reconocimiento de miradores e itinerarios paisajísticos.
- La delimitación de las áreas que han de ser objeto de atención prioritaria por la calidad visual o fragilidad de su paisaje.
- La proposición de medidas de integración paisajística.

Para la consecución de algunos de estos objetivos se hace necesaria la utilización de una herramienta capaz de manejar grandes cantidades de datos así como de gestionar y analizar toda esta información geográfica. Por tanto se hace necesario la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para depurar y analizar los datos para obtener así una serie de cartografías donde se plasmen los diferentes análisis a las que se ha sometido

los ámbitos de estudios. Además el propio Reglamento de Paisaje de la Comunidad Valenciana establece la utilización de este tipo de herramientas gestoras de la información geográfica para el análisis de determinados parámetros que inciden de forma directa en el análisis del paisaje como pueden ser el cálculo de la intervisibilidad o la simulación de un determinado proyecto.

Así mismo en el momento de analizar la cabida de determinadas actividades dentro de un territorio se hace necesario el uso de una herramienta a través de la cuál se pueda modelizar espacialmente el impacto de esa actividad en el territorio así como evaluar la implantación de las distintas medidas de integración paisajística y comprobar que dichas medidas mitigan el posible impacto paisajístico de la actividad. Para la realización de este objetivo se utilizan las simulaciones.

En esta ponencia se va a realizar una descripción esquemática del desarrollo de un Estudio de Paisaje, deteniéndose en aquellas fases que requieren el análisis de la información geográfica a través de una herramienta SIG y presentando los resultados de diferentes proyectos realizados en el ámbito de la Comunidad Valenciana.

METODOLOGÍA

Para la realización de los Estudios de Paisaje o de Integración Paisajística existen diversas metodologías puesto que se debe tener presente la diversidad de los paisajes existentes y la complejidad intrínseca de los mismos.

El primer paso que se lleva a cabo para la consecución de un Estudio de Paisaje es el de formar un equipo redactor multidisciplinar que cuente con la presencia de profesionales que intervienen en el estudio de los diferentes aspectos paisajísticos y medioambientales así como en las tomas de decisiones.

La metodología empleada para la redacción de un Estudio de Paisaje consiste en el desarrollo de varias fases que parten del análisis previo del territorio siguiendo un criterio geosistémico que es el que fundamenta las bases para la realización de la fase analítica. Las fases de un Estudio de Paisaje o de Integración Paisajística son las siguientes:

- Información del territorio y delimitación del ámbito de estudio.
- Plan de Participación Pública.
- Descripción y definición de la actuación urbanística.
- Caracterización y valoración del paisaje.
- Análisis de Visibilidad del ámbito de estudio.
- Valoración de la Integración Paisajística y Visual.
- Medidas de Integración Paisajísticas.

La ponencia va a desarrollar detalladamente tres fases de las mencionadas anteriormente como son la caracterización y valoración del paisaje, análisis visual y la valoración de la integración paisajística y visual a través de las simulaciones.

Dentro de la fase de caracterización y valoración del paisaje se encuentra la delimitación de Unidades Homogéneas de Paisaje que se lleva a cabo con el objetivo de integrar, comprender e interpretar los factores sociales y ambientales.

Para llevar a cabo la delimitación de las Unidades lo primero es la definición de las escalas de trabajo que mejor se ajusten al proyecto; posteriormente se lleva a cabo la caracterización territorial con la finalidad de analizar cada uno de los factores ambientales existentes. Dentro de estos factores se deben tener en cuenta una serie de elementos definitorios que otorguen singularidad a una unidad de paisaje y las distinguen de su entorno.

Para la correcta caracterización de las distintas unidades de paisaje se necesita el conocimiento de los elementos que la integran, tanto de los componentes del medio natural como del entramado social así como de las interacciones que se producen entre ambos. En definitiva, las Unidades de Paisaje se definirán a partir de la

consideración de los elementos y factores naturales y/o humanos, que le proporcionan una imagen particular y lo hacen identificable o único. Se considerarán, al menos, los siguientes:

- Naturales: relieve, aspectos geológicos e hidrológicos, suelo, clima, especies de fauna y flora silvestres.
- Humanos: población, asentamiento, intervención humana, patrón y usos del suelo tales como agricultura, trashumancia, silvicultura, actividades rurales, hidráulica, minería, industria, transporte, turismo, servicios, infraestructuras y usos recreativos entre otros.

Para el correcto análisis del territorio así como para la utilización de la información territorial que se maneja a la hora de delimitar las Unidades se hace necesaria una herramienta capaz de sintetizar y gestionar la gran cantidad de información geográfica con la que se trabaja. De ahí que se utilice un Sistema de información Geográfica que funcione como gestor de la información tanto cartográfica como alfanumérica que se necesita manejar a la hora de delimitar unidades de paisaje en grandes territorios.

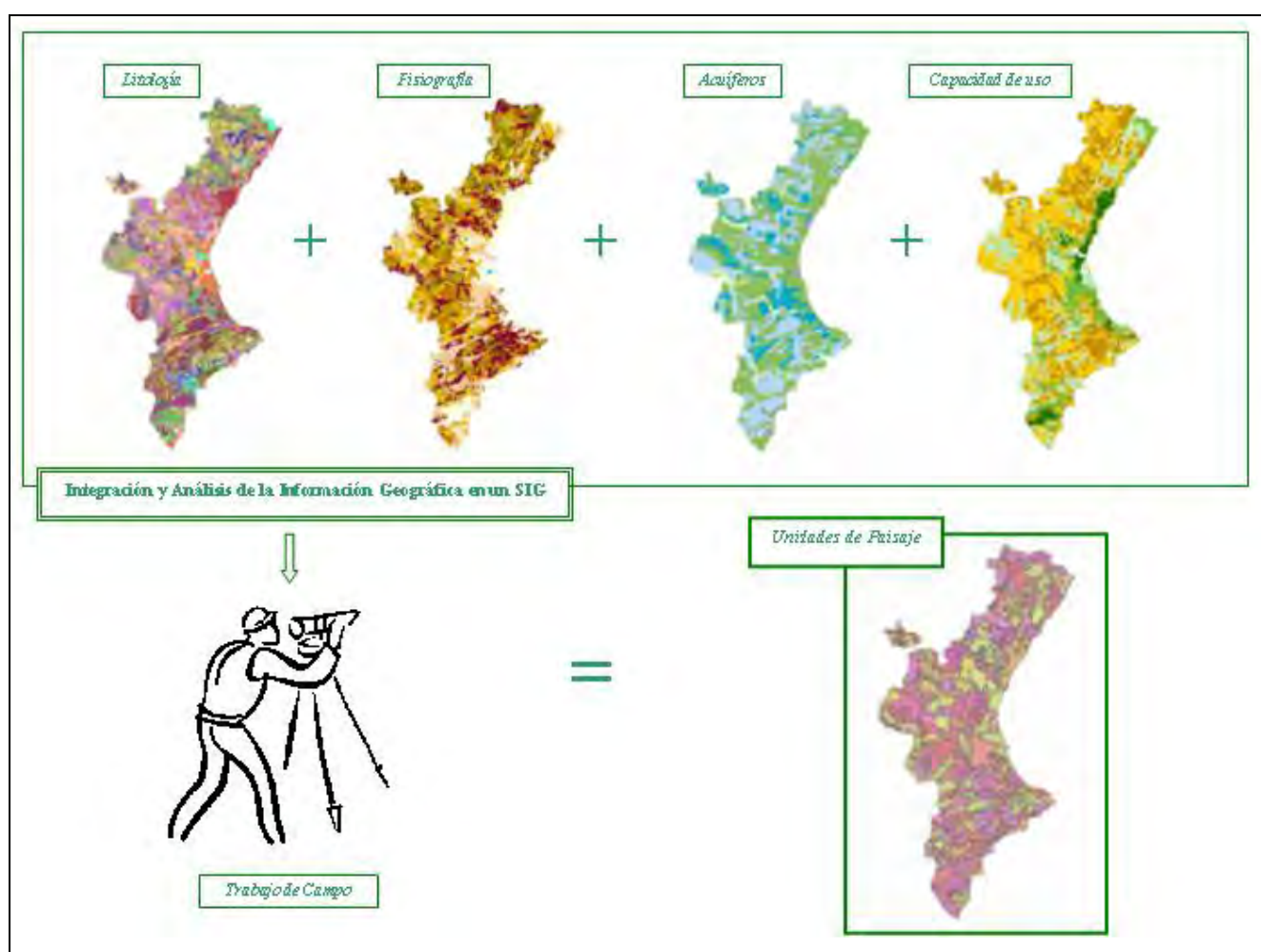


Figura 1. Esquema de análisis de información territorial para delimitación de Unidades de Paisaje.

La segunda fase se corresponde con el análisis de visibilidad puesto que de los diversos enfoques desde los que se estudia y analiza el paisaje se distingue el del paisaje visual que se orienta hacia el sentido estético o de la percepción. Este análisis se concreta en lo que el observador es capaz de percibir de ese territorio y abarca solo la superficie observable, al situarse el observador dentro del propio territorio (Ramos, 1976; Hull y Revell, 1989; Aramburu, et al., 1994).

La visibilidad se puede dividir en tres variables fundamentales:

- La escena: se trata de la aglutinación de una serie de componentes paisajísticos entre los que se encuentran la tierra, las masas de agua, la vegetación y las construcciones entre otros. Además dentro de la escena se encuentran los elementos visuales básicos como son el color, la textura, el perfil, la forma o la escala.
- El observador: dentro de estas variables se analizan el tipo y las características de los observadores que se encuentran dividiendo la escena así como el número de observadores que tiene cada escena.
- Estructura del Campo Visual: dentro de esta estructura se encuentran factores tan significativos como la visibilidad, la distancia desde la que se observa, el ángulo de observación o la cuenca visual.

Las metodologías de análisis del paisaje visual actualmente tienen un apoyo muy importante en el proceso de superposición de la información espacial y de las técnicas de análisis multicriterio por medio de la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (Johnston, y Naiman, 1990). Por consiguiente uno de los aspectos fundamentales a la hora de realizar un estudio de paisaje es el análisis del paisaje visual puesto que esta determina la importancia relativa de lo que se ve y se percibe, siendo función de la combinación de distintos factores como son los puntos de observación, la distancia, la duración de la vista y el número de observadores potenciales. (*Art. 36.1 Reglamento de Paisaje*)

La metodología para el cálculo de la visibilidad se va a dividir en tres fases fundamentales:

1. Determinación de los puntos de observación
2. Cálculo y delimitación de las cuencas visuales
3. Cálculo de la accesibilidad visual agregada

Cuando se usan estas variables o fases combinándolas en un SIG se obtienen resultados cartográficos que tienen una funcionalidad espacial en los estudios de paisaje así como en la planificación y ordenación del territorio. A continuación se describirán cada una de estas fases de manera detallada:

1. Determinación de los puntos de observación

La mayor parte de los estudios encaminados al análisis visual del paisaje conceden gran importancia a la determinación de las áreas de visibilidad desde los distintos puntos de observación (Lovejoy, 1973).

Los puntos de observación son aquellos enclaves estratégicos en el análisis del paisaje y se definen como los lugares que ofrecen una amplia visión del área de actuación. En muchos casos suelen ser enclaves elevados que soportan un gran número de observadores o miradores más o menos instaurados y reconocidos por la población. También se identifican como puntos de observación los corredores visuales identificados con las principales vías de comunicación del ámbito de estudio o con los caminos más significativos.

En la elección de los puntos de observación se debe tener presentes una serie de criterios teniendo en cuenta siempre el objetivo del estudio a realizar, como por ejemplo si se trata de puntos de observación estáticos o dinámicos. Pero los principales criterios de elección de estos puntos son visuales, por ejemplo, los criterios de sensibilidad visual así como la susceptibilidad visual que considera el número de observadores y su actitud frente al paisaje.

2. Cálculo y delimitación de las cuencas visuales

La cuenca visual es la parte del territorio que puede ser visible desde un determinado punto o conjunto de puntos. Cada punto de observación se clasifica como primario o secundario, estableciendo ámbitos de influencia para el plano cercano (hasta 300 metros), medio (300 a 1.500 metros) y el plano lejano o “de fondo” (más de 1.500 metros).

Para llevar a cabo el cálculo de las cuencas visuales se hace uso de los Sistemas de Información Geográfica para la obtención de una serie de mapas detallados de conectividad visual. La utilización de los SIG en el análisis paisajístico ha permitido automatizar los procesos de evaluación y estimación de la calidad y la fragilidad del paisaje mediante la superposición de cartografías temáticas y la aplicación de algoritmos de valoración.

A continuación en el siguiente gráfico se muestra el procedimiento que se lleva a cabo para la realización de las cuencas visuales hasta llegar a la obtención del mapa de accesibilidad visual.

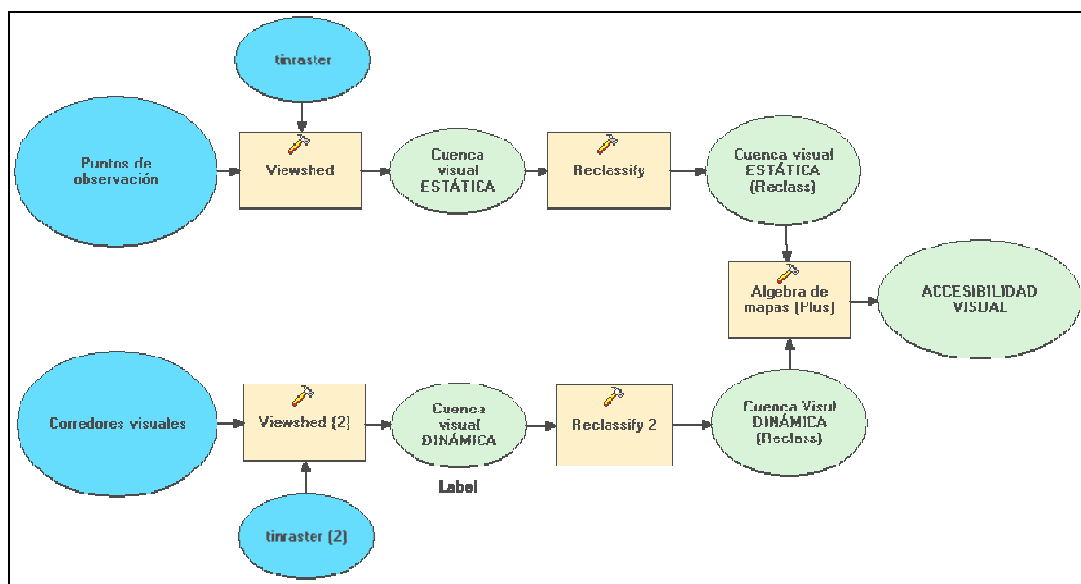


Figura 2. Esquema de cálculo de las cuencas visuales.

El cálculo de cuenca visual (Viewshed) da como resultado un ráster donde se identifican las celdas que pueden ser vistas desde los puntos de observación. Cada celda del ráster recibe un valor, las celdas que no pueden verse desde ese punto de observación reciben el valor 0, para esta operación es importante definir la altura del observador (offset).

3. Cálculo y delimitación de la accesibilidad visual

La accesibilidad visual es la suma y el resumen de las pautas de visibilidad de un territorio. Por diferentes razones los puntos de observación, tanto dinámicos (corredores visuales) como los estáticos, no tienen la misma importancia a la hora de calcular la accesibilidad visual de manera que deben ser ponderados, permitiendo así alcanzar resultados más cercanos a la realidad.

La capacidad de utilizar mapas de visibilidad fiables tiene muchas aplicaciones, desde ver el impacto visual de un proyecto antes de ser ejecutado, determinar quienes se verán afectados visualmente por una nueva actividad que se quiere introducir en el paisaje, hasta evaluar como optimizar la posición de los repetidores para una compañía de telefonía móvil u otro tipo de telecomunicaciones.

Para el resultado final se realiza una escala de valores en función de la frecuencia de observación obteniendo una categorización de la accesibilidad visual, siendo las categorías básicas son alta, media y baja.

Teniendo en cuenta que el Reglamento nos marca que “los puntos de observación se clasificarán como principales y secundarios, en función del número de observadores potenciales, la distancia y la duración de la visión y que son zonas de máxima visibilidad las perceptibles desde algún punto de observación principal, que son zonas de visibilidad media las perceptibles desde más de la mitad de los puntos de observación secundarios, y baja desde menos de la mitad de éstos”, para poder capturar esta información es preciso asignar (en la reclasificación) a las zonas visibles desde los observatorios principales, un valor muy alto (1000 por ejemplo), de tal manera que en la tabla final seamos capaces de identificar las zonas que provienen de dichos observatorios principales.

En la siguiente figura se muestra gráficamente el proceso del cálculo de la accesibilidad visual agregada:

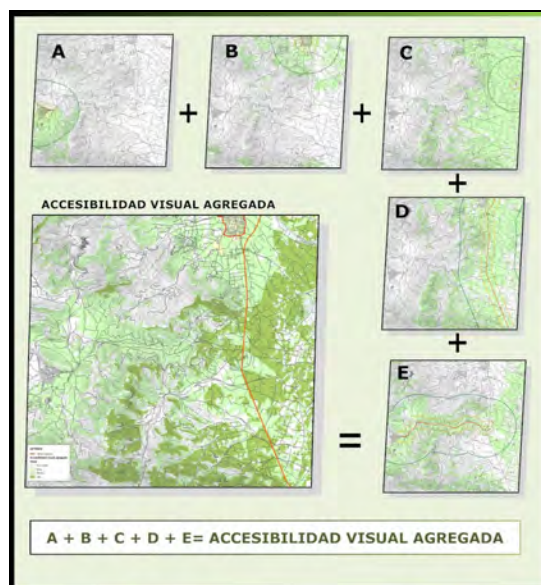


Figura 3. Procedimiento metodológico del cálculo de la Accesibilidad Visual Agregada.

Para llevar a cabo la tercera fase que corresponde al análisis de la integración visual y paisajística de la actuación se necesita conocer la composición final de la actuación dentro del paisaje y para ello se hace necesaria la realización de una simulación visual. Esta simulación muestra una imagen en perspectiva del aspecto del proyecto y tal como se vería, una vez construido en el contexto o el sitio real en el que se propone su localización. Esta es una herramienta muy útil para estudiar determinados desarrollos y predecir las relaciones que se establecen entre estos y el entorno, ayudando a la visualización de las modificaciones propuestas antes de que lleguen a establecerse realmente en el territorio. Esto facilita la consecución de uno de los objetivos primordiales de los estudios de paisaje como es la integración de la actividad o actividades proyectada dentro del entorno.

Por último las técnicas de simulación visual tienen por objeto predecir la relación de una actuación y su entorno, ayudando a la visualización de las modificaciones propuestas antes de que lleguen a realizarse. Esto permite la elaboración de alternativas que pueden ser analizadas en su totalidad y utilizadas para la distinta toma de decisiones territoriales que se pueden llevar a cabo como consecuencia de los cambios producidos en el paisaje a raíz de los nuevos desarrollos. En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica se han constituido como poderosas herramientas para llevar a cabo la realización de representaciones o simulaciones de la realidad.



Figura 4. Ejemplo de una simulación.

ÁREAS DE ESTUDIO

Las áreas de estudio se encuentran dividida en tres ejemplos, por un lado el amplio ámbito de la Comunidad Valenciana, por otro un ejemplo centrado en un municipio del norte de la provincia de Castellón y por último una zona del núcleo urbano de Benicasim en la provincia de Castellón.

La Comunidad Valenciana se sitúa en plena costa mediterránea española dividiéndose en tres provincias como son Valencia, Castellón y Alicante. La Comunidad muestra paisajes de múltiples fisonomías, en buena medida surgidos de la laboriosa acción humana en sus ricos campos y huertas así como del propio proceso urbanizador. El paisaje natural abarca el bosque mediterráneo de las áreas montañosas, la singular área húmeda de la Albufera de Valencia y los reflejos subáridos del extremo meridional, próximo ya a la región de Murcia.

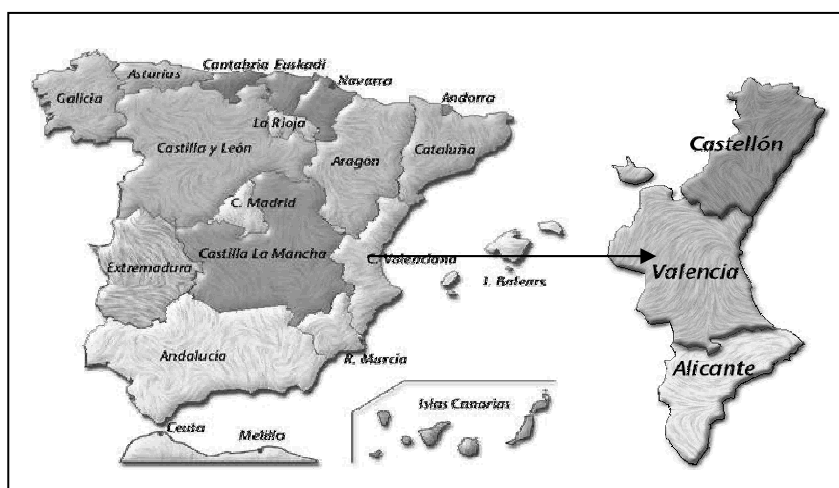


Figura 5. Área de estudio 1. Comunidad Valenciana.

En cuanto al segundo ejemplo el ámbito de actuación se encuentra en el municipio de Les Coves de Vinromà, situado en la mitad norte de la provincia de Castellón; este municipio cuenta con unos 2.000 habitantes y el ámbito se caracteriza por una morfología llana con pendientes topográficas escasas y por algunas zonas con formas topográficas redondeadas que pueden llegar a encontrar valores de pendiente de hasta 25%.

El principal uso que se observa en la zona de estudio es el agrícola, puesto que se trata de un área relacionada tradicionalmente con el cultivo de secano, muestra de ello son las extensiones de almendros así como de olivos que se encuentran en el ámbito.

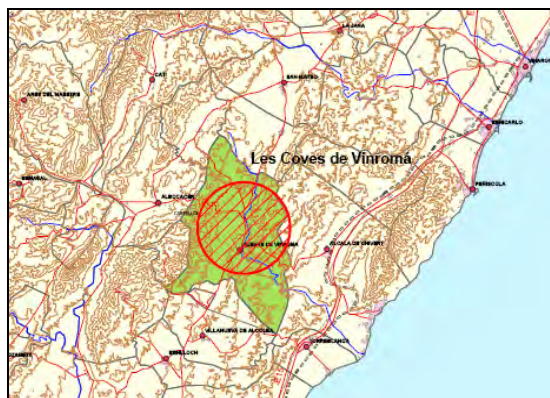


Figura 6. Área de estudio 2. Les Coves de Vinromà (Castellón).

El tercer ejemplo se desarrolla en el término municipal de Benicasim (Castellón), al noreste del núcleo urbano en un área prácticamente consolidada muy próxima a la zona conocida como “Las Villas”. En este ámbito de estudio existen varias parcelas, la que linda con la avenida Ferrandis Salvador y la calle Gimeno Tomás se caracteriza por ser un solar en el que se encuentran algunas especie vegetales nitrófilas de marcado carácter antrópico, encontrándose esta zona en un estado avanzado de deterioro y abandono. En la otra parcela se encuentran una serie de edificaciones aisladas, así como unas instalaciones deportivas (canchas de tenis). En uno de los lados de esta parcela, en concreto la que limita con la calle Gimeno Tomás, se encuentra un área ajardinada en un estado óptimo de conservación donde destacan sus palmeras y sus palmitos, así como distintas especies vegetales propias de estos ajardinamientos.

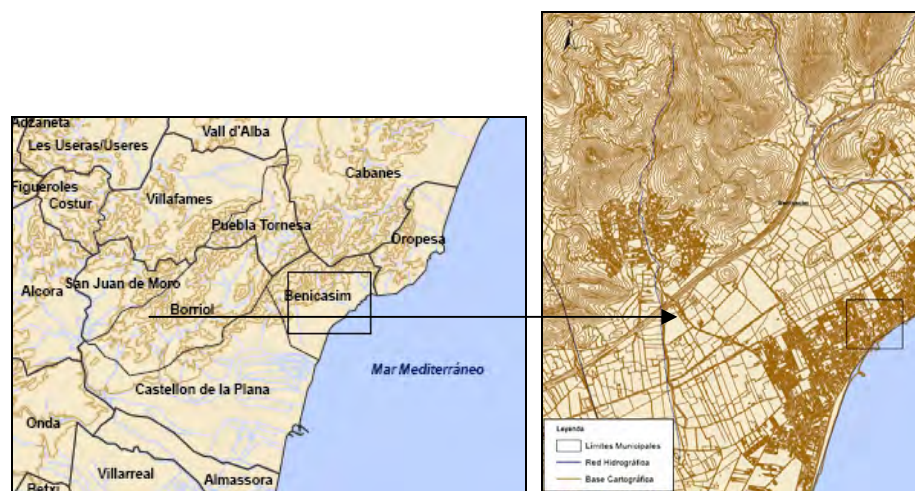


Figura 7. Área de estudio 3. Benicasim (Castellón).

RESULTADOS

En este apartado se van a desarrollar los resultados de los tres trabajos desarrollados en cada una de las áreas de estudio ejemplificando en cada uno de ellos los tres grandes bloques necesarios para la realización de un Estudio de Paisaje y en los que se necesita una herramienta SIG.

El proyecto en el que se aplico la metodología de la delimitación de Unidades de Paisaje fue el que se llevo a cabo para la Conselleria de Territorio de la Generalitat Valenciana y que consistía en la definición de una serie de tipos de paisaje y de unidades de paisaje de toda la Comunidad Valenciana.

El primer paso fue la selección de la escala y para llevar a cabo un proyecto de esta envergadura la escala que el equipo creyó más oportuna fue la 1:50.000 puesto que aporta la apreciación adecuada de los ámbitos comarcales así como una clara comprensión sobre la delimitación de las distintas unidades paisajísticas. En cambio, la escala gráfica de los planos de salida se llevó a cabo a 1:20.000 lo que permitiría una delimitación más ajustada a la realidad geográfica.

A continuación, se llevó a cabo el estudio de una serie de documentos de interés para la identificación y delimitación de las Unidades. Primeramente se realizo una recopilación de material gráfico y cartográfico para introducirlo en el Sistema de Información Geográfico, encontrándose dentro de estos instrumentos imágenes satélite y diverso material cartográfico entre los que se hallaban el topográfico, hidrológico, geológico, vegetación, suelos, usos, etc.

Para la escala de trabajo seleccionada (1:50.000) los factores ambientales que van a primar en el paisaje son los concernientes a la fisiografía, la vegetación, los usos del suelo, las infraestructuras y las tendencias de cambio de cada unidad con respecto al futuro establecimiento de desarrollo contemplados en distintos planes y

programas. Pese a que estos elementos constituirían los principales rasgos definitorios de cada una de las unidades de paisaje, en determinadas ocasiones, existen otros elementos específicos que otorgan una identidad especial a ese ámbito, por lo que también se tuvieron en cuenta a la hora de caracterizar algunas unidades factores ambientales relacionados con determinadas formas geológicas, hidrológicas, relacionadas con determinados rasgos biogeográficos y microclimáticos entre otros.

Una vez definidos los factores ambientales que iban a ser utilizados se empezó a trabajar con la información cartográfica y alfanumérica que se habían introducido en el SIG. A partir de este momento se comenzaron a llevar a cabo diversos cruces de informaciones de cada una de las cartografías para obtener una serie de límites de unidades provisionales. Una vez realizada esta primera parte del trabajo se llevo a cabo la definición de una serie de recorridos de campo, seleccionando una serie de puntos desde los que se obtenían una amplia cuenca visual para desde ellos rectificar los distintos límites de las unidades de paisaje obtenidas con el proceso anterior.

Parte de los resultados de este trabajo se encuentran recogidos a través de las siguientes figuras:

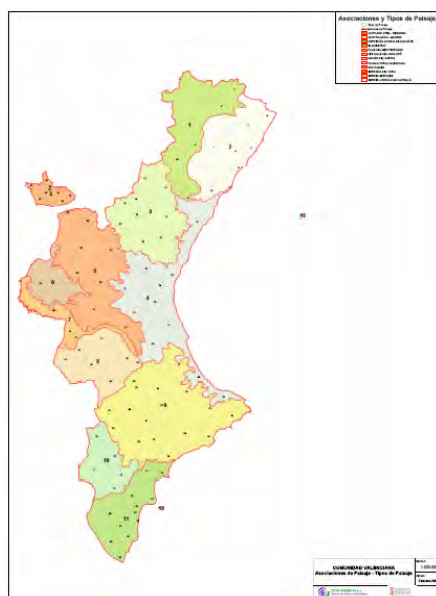


Figura 8. Mapas de Tipos de Paisaje de la Comunidad Valenciana.

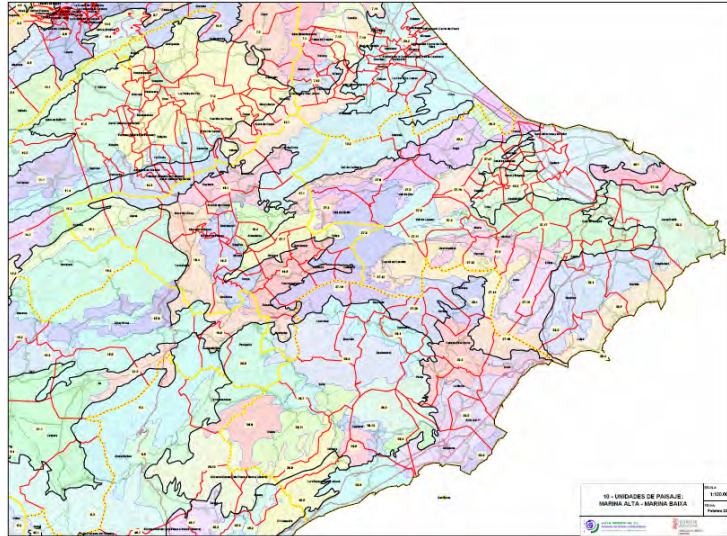


Figura 9. Unidad de Paisaje Marina Alta- Marina Baja.

La redacción de los resultados de la aplicación del análisis de las pautas de visibilidad se ha desarrollado con un proyecto situado al norte de la provincia de Castellón y que se caracteriza por analizar la integración paisajística de un circuito de velocidad dentro de un entorno caracterizado por parcelas de cultivos.

Para llevar a cabo el análisis de visibilidad del entorno el primer paso fue la realización de un Modelo Digital del Terreno (en este caso Modelo Digital de Elevaciones) utilizando las cotas y curvas de nivel obtenidas de la cartografía oficial del Instituto Cartográfico Valenciano (ICV) en formato digital con información tridimensional (3D) y a escala 1/10.000, obtenida como restitución fotogramétrica del vuelo del año 1997.

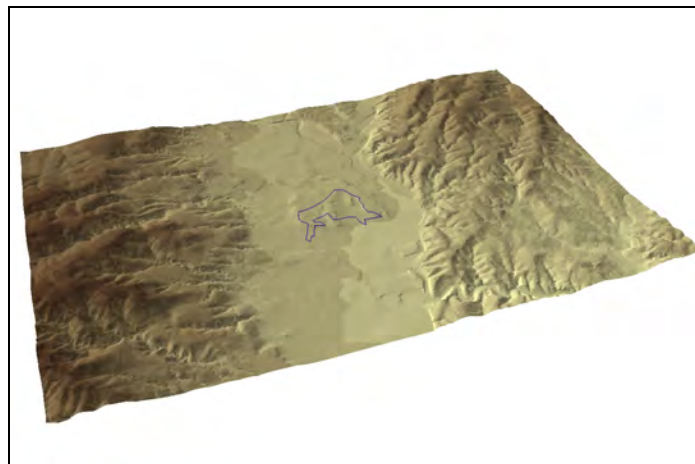


Figura 10. Modelo Digital de Elevaciones de Les Coves de Vinromà.

Posteriormente se pasó al cálculo de las distintas cuencas de visibilidad para ello se eligieron los puntos de observación siguientes:

- a. El núcleo urbano de Les Coves de Vinromà: concretamente la zona del cementerio del pueblo que se encuentra en la zona norte del mismo y que posee una visión directa de la actuación. Este observatorio se caracteriza por ser estático puesto que el observador realiza la visión desde un punto fijo en el territorio.

- b. El trazado de la carretera CV-10 que discurre por la zona este del ámbito de actuación. Este observatorio se caracteriza por ser dinámico puesto que la observación se lleva a cabo en movimiento.
- c. Como observatorios secundarios, clasificados así para establecer con posterioridad el peso asignado en el cálculo de la accesibilidad visual agregada, se han elegido la carretera que une el término de Les Coves de Vinromà con Albócasser (CV- 129) y la que lo une con Alcalá de Xivert (CV-133)

Una vez elegidos los observatorios se paso al cálculo de las distintas cuencas visuales resultantes de cada uno de ellos. Para ello se establecen los umbrales de las cuencas visuales según la legislación valenciana en: distancias corta (300 m), medias (300-1500 m) y largas (más de 1500 m) desde el punto de observación. Puesto que aproximadamente a partir de estas distancias los elementos visuales básicos se modifican, volviéndose los colores más pálidos y menos brillantes, debilitándose la intensidad de las líneas y perdiendo contraste la textura” (Aramburu, et al., 1994).

Un ejemplo de resultado del cálculo de visibilidad de la cuenca obtenida del núcleo urbano de Les Coves de Vinromà se presenta en la siguiente figura:

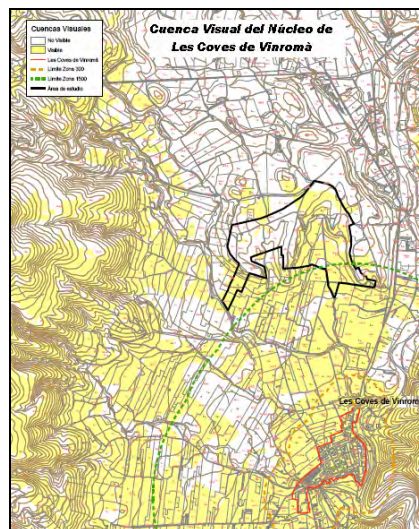


Figura 11. Cuenca Visual del Núcleo Urbano de Les Coves de Vinromà.

El plano de accesibilidad visual agregada muestra el grado de visibilidad del territorio, ponderando la importancia de cada observatorio. Por consiguiente, para realizar el cálculo de la Accesibilidad Visual Agregada del ámbito se ha aplicado el álgebra de mapas puesto que esta se calcula partiendo de cada una de las cuencas visuales anteriormente obtenidas y aplicándoles a cada una de ellas un peso específico dependiendo si ambas se originan en un observatorio de carácter primario como son el núcleo urbano de Les Coves de Vinromà o el trazado por el que discurre la carretera CV-10 o en uno secundario (CV-129 o CV-133).

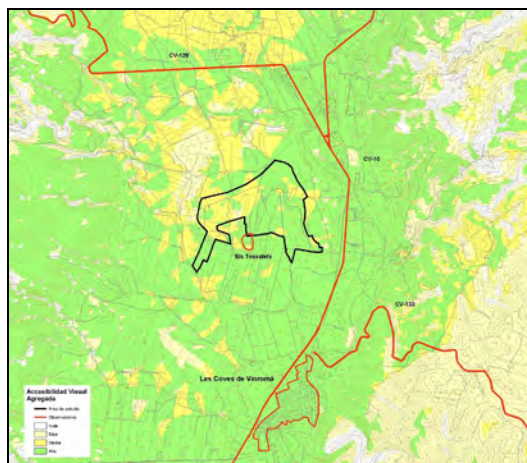


Figura 12. Accesibilidad Visual Agregada.

A través del análisis de visibilidad así como del resto del Estudio de Integración Paisajística se han mitigado algunos de los principales impactos paisajísticos generados a través de los primeros bocetos del trazado del Circuito de Velocidad en Les Coves de Vinromá. Este trazado junto con la totalidad del proyecto ha ido evolucionando a medida que se han estudiado y analizado los diferentes parámetros paisajísticos de la zona obteniendo un resultado que combinado con las distintas medidas de integración paisajísticas propuestas queda integrado en el entorno.

El concepto de simulación surge como una representación simplificada, variando escalas de espacio y tiempo, de las condiciones existentes en un determinado proceso del mundo real. Para ello se lleva a cabo una parametrización y discretización del mismo, con el fin de que los aspectos más importantes para la comprensión del mismo puedan ser representados mediante un modelo.

Este tipo de técnicas son fundamentales para analizar la integración paisajística de determinadas actuaciones urbanísticas que son objeto de estudios de paisaje. Por ejemplo se estudió la integración paisajística de una serie de construcciones dedicadas al turismo en un área costera de la provincia de Castellón, concretamente en el municipio de Benicasim.

Para la construcción de la simulación se utilizó una ortofoto de la zona así como un Modelo Digital de Elevaciones obtenido a partir de la cartografía 1:10.000 del término municipal. De la superposición de ambas capas se obtiene una simulación “real” del terreno, en él se han introducido una capa vectorial con el contorno de cada uno de los edificios colindantes y de los que se encuentran proyectados, obtenido como resultado las imágenes que se muestran en las siguientes figuras:



Figura 13. Simulación de proyecto de edificación en Benicasim.

Además a estas vistas también se le añadieron las distintas medidas de integración paisajísticas entre las que se encontraban una hilera de arbolado lineal que funcionase de pantalla visual con respecto a las construcciones colindantes así como a las vías que se localizan en el perímetro de la actuación.

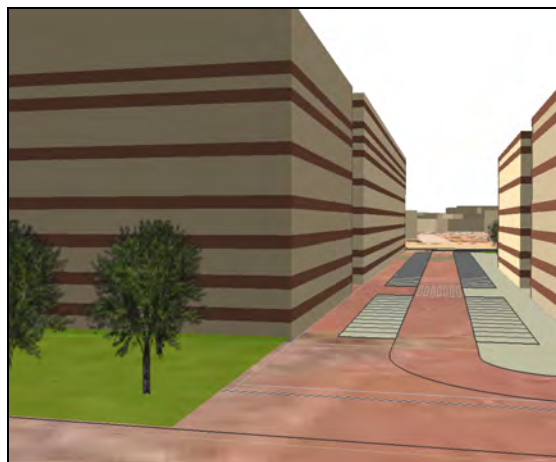


Figura 14. Detalle de la simulación.

Este Estudio de Integración Paisajística realizado para un Estudio de Detalle en Benicasim cuyo objeto principal era la ubicación de volúmenes dentro de la parcela de estudio, situada en un ámbito eminentemente urbano, buscando una localización adecuada teniendo en cuenta el entorno más próximo. Para este objetivo las simulaciones tuvieron un papel fundamental puesto que permitieron analizar la integración de los distintos volúmenes propuestos con el entorno analizando las distintas características físicas de los mismos como por ejemplo la altura. Así mismo el análisis de la ubicación de los volúmenes se combina con la introducción de las diferentes medidas de integración paisajísticas propuesta con el objeto de analizar si estas medidas mitigan el impacto paisajístico creado por la introducción de estos nuevos elementos en este entorno urbano.

CONCLUSIONES

La Comunidad Valenciana cuenta con una gran riqueza paisajística que se ve afectada por problemas de diversa índole acompañados de una escasa sensibilidad en la toma de decisiones y la carencia de una acción

pública y privada en paisaje. El paisaje como recurso, patrimonio cultural colectivo y factor de la calidad de vida de la población es una cualidad referida a la totalidad del espacio o territorio.

De ahí que nazca una seria preocupación por estudiar y analizar los principales rasgos del paisaje así como analizar la integración en el mismo de determinadas actividades puesto que el paisaje es un recurso fundamental en la calidad de vida de los ciudadanos.

El trabajo plantea la metodología desarrollada para los Estudios de Paisaje en la Comunidad Valenciana; dicha metodología significa un esfuerzo interdisciplinar que aglutine técnicas y métodos de análisis bajo un mismo hilo argumental.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que ya han demostrado sus enormes prestaciones en distintos aspectos de la planificación y ordenación del territorio, pueden y deben emplearse ahora en los Estudios de Paisaje, añadiendo nuevas posibilidades de análisis de la información geográfica por eso es importante ratificar la potencialidad de los SIG como herramienta de análisis espacial y simulación en el estudio del paisaje y en el contexto de la ordenación del territorio y del medioambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aramburu, M.P.; Cifuentes, P. et al. (1994): *Guía para la elaboración de estudios del Medio Físico: Contenido y Metodología*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid.

Calvo, I. (2001): *Contribución del Atlas de los Paisajes de España a la integración del paisaje en la planificación y desarrollo territorial*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

Gómez Orea, D. (1978): *El Medio Físico y la Planificación*. Vols. I y II. *Cuadernos del C.I.F.C.A.*.

Johnston, C.A. y Naiman, R.J. (1990): The use of a geographic information system to analyze long term landscape alteration by beaver. *Landscape Ecology*, 1: 63-75.

Lovejoy, D. (1973): *Land use and landscape planning*. International Textbook Company. Leonard Hill, London.

Madiedo, F. y Bosque J. (2007): Una propuesta para cuantificar la visibilidad del territorio desde la red viaria. *Cuadernos Geográficos*, 39: 69-81.

Ramos, A. (1976): Visual landscape evaluation. A grid technique. *Landscape Planning*, 3: 67-88.

Ramos, A. (1980): *El estudio del Paisaje*. Trabajos de la Cátedra de Planificación de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid.

Pinilla, Carlos y Fenoy, Juan M.F. (2008): Temperatura de superficie del mar (SST) del Mar de Alborán. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 695-706. ISBN: 978-84-96971-53-0.

TEMPERATURA DE SUPERFICIE DEL MAR (SST) DEL MAR DE ALBORÁN

Pinilla, Carlos y Fenoy, Juan M. F.

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Jaén. Campus de las Lagunillas, s/n, Edificio A-3. Correo electrónico: cpinilla@ujaen.es; jmfenoy@ujaen.es

RESUMEN

Siendo el estrecho de Gibraltar la única conexión entre el mar Mediterráneo y el océano Atlántico, provoca que la dinámica de corrientes marinas entre ambos mares a través del Estrecho sea de excepcional diversidad, afectando a las zonas contiguas del mar de Alborán. El intercambio de masas de agua en superficie se realiza hacia el Mediterráneo, dando origen a una estructura denominada pluma de agua. El presente artículo estudia en una ventana temporal amplia la dinámica de estas corrientes, caracterizadas por su temperatura de superficie del mar (SST), mediante imágenes de satélites NOAA. Se hace un estudio de idoneidad de las imágenes, contrastando con datos experimentales procedentes de una boya de localización conocida y fija en el Estrecho. Asimismo, se analiza la forma y progresión de la pluma mediante imágenes con el mínimo transcurso temporal posible a partir de la colección de imágenes NOAA obtenida.

Palabras Clave: SST, NOAA, mar de Alborán

ABSTRACT

The fact that the strait of Gibraltar is the only connection between the Mediterranean Sea and the Atlantic Ocean, causes a huge diversity at the sea current dynamics between both seas, involving also the Alboran Sea. The water exchange at sea surface goes in favour of the Mediterranean Sea, thus originating a recognizable pattern, known as water feather. This paper studies these currents' dynamics in a wide temporal window, by means of the surface sea temperature (SST) obtained from NOAA satellites imagery. The best-fitted images are calculated with regression statistics from a fixed buoy near the Strait. We also analyze the imagery collection seeking feather form and progression based in a minimum-time lapse when possible.

Key Words: SST, NOAA, Alboran Sea.

INTRODUCCIÓN

Una de las aplicaciones oceanográficas que pueden derivarse del empleo de sensores remotos a escala regional es el cálculo de la denominada temperatura de superficie del mar (SST, de sus siglas en inglés), en donde cada píxel de la imagen resultante guarda información sobre la temperatura a la que se encuentra el territorio que corresponde, lo que es de especial aplicación al medio marino. En una imagen SST quedan reflejadas las temperaturas de las masas de agua marinas de la región observada, por lo que se pueden distinguir según sus propiedades.

Una de las plataformas más empleadas para la SST son los satélites de la serie NOAA. La ventaja del sensor AVHRR estriba en, por una parte, un tamaño de píxel que se amolda bien a las pretensiones de estudios regionales, y por otra, en la existencia de dos bandas correspondientes al infrarrojo térmico, lo que permite una obtención de temperaturas radiométricas mediante el procedimiento de ventana partida o *split window*.

Estudios previos siguen un proceso de cálculo y análisis de la SST que se han tomado como modelo, en especial los descritos en Zheng *et al.* (1982), Yu *et al.* (1996) y Li *et al.* (2001); así, en este último se analizan los datos provenientes de dos plataformas de NOAA, casándolos con los valores de una boya experimental situada en el golfo de México, y comprobando qué algoritmo de cálculo arroja mejores resultados.

En el caso del presente estudio se ha planteado, en similares términos, la aplicación de la SST al estrecho de Gibraltar y el mar de Alborán, a tal efecto se disponen de datos experimentales procedentes de una boya marina. El mar de Alborán ha sido objeto también de investigaciones de sensores remotos, como en Arnone (1987), en donde se establecen mapas del mar en función del contenido en fitoplancton detectado, o Baldacci *et al.* (2001), donde se realiza un análisis de componentes principales a partir de las imágenes.

Sin embargo, existen varios algoritmos que permiten la obtención de la SST, y diversos satélites de la serie NOAA. Es preciso determinar la idoneidad de las imágenes, según factores como satélite, época de toma, o algoritmo de SST; desde el primer paso –la obtención de la imagen misma–, hasta la obtención de una imagen SST del mar del Alborán. Para contrastar los resultados de estos algoritmos se recurre a los datos de la boya marina, de localización conocida, que permitirá confrontar datos reales y valores obtenidos por los algoritmos.

ZONA DE ESTUDIO

El estrecho de Gibraltar es una región con una dinámica marina muy activa, de alto interés oceanográfico, ya que separa dos cuencas marinas de aguas con propiedades diferentes, como es su densidad. Además, el hecho de que haya una diferencia de nivel del mar de 14 cm entre el Atlántico y el Mediterráneo coadyuva al establecimiento de unos gradientes de presión, que en definitiva, son los que hacen mover las masas de agua. La presión hidrostática superficial es mayor en la parte atlántica al encontrarse a más nivel, por lo que tiende a derivarse al este, hacia el Mediterráneo. Al contrario, por la mayor densidad de las aguas mediterráneas, en profundidad la presión es mayor en éstas, y se deriva una corriente hacia el oeste, hacia el océano Atlántico.

En superficie, dada la diferencia de temperaturas de las masas de agua de ambos mares, la introducción de aguas atlánticas en el mediterráneo suele apreciarse como una estructura filiforme, denominada pluma. Una vez sobrepasado el estrecho, y abrirse el mar de Alborán, la pluma de agua sigue diversas trayectorias (hacia el nordeste, el este, o incluso el sureste), según las condiciones marinas en cada momento.

La estructura de las subcorrientes marinas ha sido estudiada en trabajos previos, como Viúdez *et al.* (1998) o Tintorè *et al.* (1988). Se observa una cierta predominancia de las plumas en dirección al noreste, corriente que va girando en la región media del mar de Alborán.

En este estudio se examinan cuáles son las mejores condiciones para la observación de las corrientes marinas superficiales en el mar de Alborán, a partir de imágenes de los satélites de la serie NOAA, y a través de la temperatura de superficie del mar (SST), magnitud que puede calcularse a través de las bandas térmicas de los satélites NOAA.

La SST es válida para la observación de las plumas dado que las masas de agua se encuentran a temperaturas distintas, por lo que la obtención de una imagen de SST permitirá la visualización de la pluma atlántica.

METODOLOGÍA

NESDIS: Servidor de imágenes de NOAA

Las imágenes se han conseguido en el Servicio de Información de NOAA, denominado NESDIS, con dirección de Internet www.class.noaa.gov. El servicio NESDIS permite obtener multitud de productos, de los cuales interesa aquél que permita una buena representación de la SST a escala regional. En concreto, el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) de los satélites de NOAA es de los más manejados para este fin. AVHRR presenta tres formatos de datos: GAC, LAC y HRPT; este último es el que se ha manejado, por su mejor resolución espacial, de 1,1 km.

El servicio NESDIS permite refinar la búsqueda de imágenes mediante la determinación, de entre varias opciones, del formato deseado (GAC/LAC/HRPT), fechas de inicio y término del intervalo temporal de interés, satélites; y en especial, la zona espacial comprendida en las imágenes.

En este caso, la ventana temporal corresponde al periodo julio de 2002 a septiembre de 2003. Durante este intervalo, los satélites de la serie NOAA activos fueron los números 14, 15, 16 y 17. En secciones siguientes se determinará qué sensores arrojaron los mejores resultados.

La búsqueda responde con todas las imágenes encontradas, con la posibilidad de previsualizar la imagen. De todas las imágenes de la base de datos que cumplieran con las condiciones especificadas, un importante número de ellas fueron descartadas por un diverso número de razones que más tarde serán expuestas. La previsualización permite descartar imágenes sin necesidad de pedir las al servidor, economizando recursos.

Datos experimentales

Para verificar la exactitud de los diversos algoritmos de SST sobre el mar de Alborán se ha hecho uso de los datos experimentales de una boya marina, denominada Boya Alborán, junto al estrecho de Gibraltar, enfrente del litoral malagueño, con coordenadas fijas en 36° 13,8' N, 5° 1,8' W. Boya Alborán es capaz de registrar diversas variables, como velocidad y dirección del viento, presión o temperatura del aire; y en particular, la variable que interesa, la temperatura de superficie del mar o SST.

La secuencia de datos experimentales cubre la ventana temporal desde febrero de 1997 hasta junio de 2003, a razón de una medición por hora. Sin embargo, no todas las medidas en este intervalo son útiles si se considera la variable de SST, que sólo muestra resultados físicamente posibles en varios intervalos temporales; el más tardío, a la vez el más extenso, corresponde a las siguientes fechas: del 1 de enero de 2002 a 13 de junio de 2003.

Selección de los criterios

Los diversos satélites de la serie NOAA realizan dos pasadas sobre toda la superficie de la Tierra al día: una de las imágenes suele corresponder a un periodo diurno, mientras que la segunda suele ser nocturna. Cada satélite realiza las pasadas sobre el mar de Alborán aproximadamente a la misma hora; así, el satélite NOAA-16 realiza la pasada nocturna 2 y las 3 horas GMT, mientras que la diurna se registra entre las 13 y 14 horas GMT.

No todas las imágenes registradas fueron aprovechables para obtener la SST en el mar de Alborán. Sistemáticamente se realizó un primer análisis visual de cada imagen, en el que se desecharon aquellas que presentaran un amplio desarrollo de nubes, o una presencia significativa de éstas en el área de interés. Esto se debe a que las nubes causan un gran impacto en el cálculo de la SST, lo que puede llegar a falsear resultados. Los procesos para restaurar la superficie que subyace bajo la capa de nubes para obtener la SST original, requieren un conocimiento exhaustivo de las condiciones climáticas locales (Ontar Corporation, 2004). Un criterio más práctico emplea la detección de nubes para crear una máscara en los píxeles nubosos (Chuvienco, 2002). Por todo esto, se ha evitado la inclusión imágenes con zonas nubosas en el área de interés.

También se han descartado aquellas imágenes que proporcionaban un cenit del satélite superior a 30°. Éste es un criterio recomendado en la literatura (Goward *et al.*, 1991) sobre imágenes AVHRR, y es debido a la deformación de los píxeles de la imagen con respecto a la realidad conforme el campo de visión se distancia del nadir.

Ambos criterios se emplearon de forma grosera como primer filtro para seleccionar las imágenes válidas. Con posterioridad se refinaron estos criterios, dentro del proceso de cálculo de la SST.

Cálculo de las imágenes SST

Una imagen de SST es el producto final de un conjunto de procesos de cálculo que se realizan sobre la imagen HRPT. Todos estos procesos se han automatizado mediante la creación de un módulo específico e implementado sobre IDL.

El primer proceso es la calibración de las bandas térmicas del sensor AVHRR, para la obtención de la temperatura de la superficie que corresponde con los píxeles de la imagen, ya sean terrestres o marinos. La calibración aplica los términos de ganancia y offset, según la ecuación $L = a + b * ND$, a partir de los cuales se calcu-

la la temperatura radiométrica. Estos coeficientes a y b , sesgo (*offset*) y ganancia (*gain* o *slope*) respectivamente, se incluyen en la cabecera de la imagen (NOAA 2005). Se hace notar que para las bandas térmicas del sensor AVHRR la ganancia es negativa.

La cabecera de las imágenes de este sensor aporta además información sobre la geometría de la imagen; pueden derivarse imágenes correspondientes a latitud, longitud, ángulo solar y ángulo del sensor. En este punto es donde se corroboró que el área del mar de Alborán quedara dentro del margen de cenit del sensor de menos de 30°, para evitar la deformación del píxel. A efectos prácticos, se ha considerado el área comprendida entre el extremo occidental del Estrecho (línea Trafalgar-Tánger) y el litoral mediterráneo andaluz y su correspondiente rifeño.

Un segundo proceso seguido consistió en la georreferenciación de la imagen. Para establecer los puntos de control se hizo uso de un conjunto de imágenes de pequeño tamaño georreferenciadas previamente, que muestran áreas geográficas concretas muy relevantes de la península Ibérica y del norte de África. Estas imágenes se correlaron espacialmente con la imagen para georreferenciar –es decir, son técnicas de correlación *area-based*– mediante una transformación bilineal de segundo grado. Las características de la proyección cartográfica son: proyección UTM (huso 30N) y datum Europeo 1979.

El módulo también creó una máscara de nubes siguiendo los criterios basados en el método de Sanders *et al.* (1988), consistente en realizar cuatro tests sobre la información de las bandas 1, 2 y 5 del sensor AVHRR. En una imagen nocturna, basta comprobar qué píxeles tienen una temperatura según la banda 5 $T_5 \leq 265$ K. En una imagen diurna, además ha de cumplirse que para la reflectancia pase del umbral crítico del 120% para la suma de las reflectancias de las bandas 1 y 2, por encima de la cual un píxel se considera nuboso.

Un tercer criterio más restrictivo, que ha de cumplirse simultáneamente a los anteriores para las imágenes diurnas es que la suma de las reflectancias de las bandas 1 y 2 ha de ser superior al 80%, mientras que $T_5 \leq 265$ K.

Todo píxel que resultó positivo para alguno de los tests se eliminó mediante la máscara de nubes. Consecuentemente, en este paso se desecharon las imágenes que muestran una extensa máscara de nubes en el área del mar de Alborán y que no habían sido descartadas en el análisis visual. Otros algoritmos se pueden encontrar en Derrien *et al.* (1993) y en Chuvieco (2002).

Asimismo están implementados varios algoritmos de cálculo de la SST. En la literatura se encuentran diversos métodos de cálculo, a partir de los valores de las bandas térmicas del sensor AVHRR, es decir, de la banda 4 y la banda 5. En concreto, se calcularon las SST según los algoritmos NLSST y MCSST de NOAA, Sobrino y ventana partida para las imágenes diurnas; para las nocturnas, además de las anteriores, se calculó el algoritmo de ventana partida (*split window*) sencilla, específicamente diseñada para imágenes nocturnas.

Las expresiones de los algoritmos son las siguientes (extraídas de NOAA Coefficients, vid. Bibliografía, y Sobrino *et al.* (1993)):

$$MCSST = B1 * T4 + B2(T4 - T5) + B3(T4 - T5)(\sec \theta - 1) - B4$$

$$NLSST = A1 * T4 + A2 * (T4 - T5) * MCSST + A3 * (T4 - T5) * (\sec \theta - 1) - A4$$

$$SOBRINO = T4 + (1.4 + 0.32 * (T4 - T5)) * (T4 - T5) + 0.83$$

con $B1, \dots, B4$ y $A1, \dots, A4$ coeficientes tabulados.

Finalmente, las imágenes se recortaron para mostrar el área del mar de Alborán, y se les aplicó una máscara de tierra diseñada *ad hoc*. Como resultado de este proceso, se obtiene una colección de imágenes de SST como la mostrada a continuación (Figura 1). Se hace notar cómo se superponen la pluma nueva, de desarrollo medio, con la pluma anterior, que gira desde la dirección noreste hasta la costa del Rif.

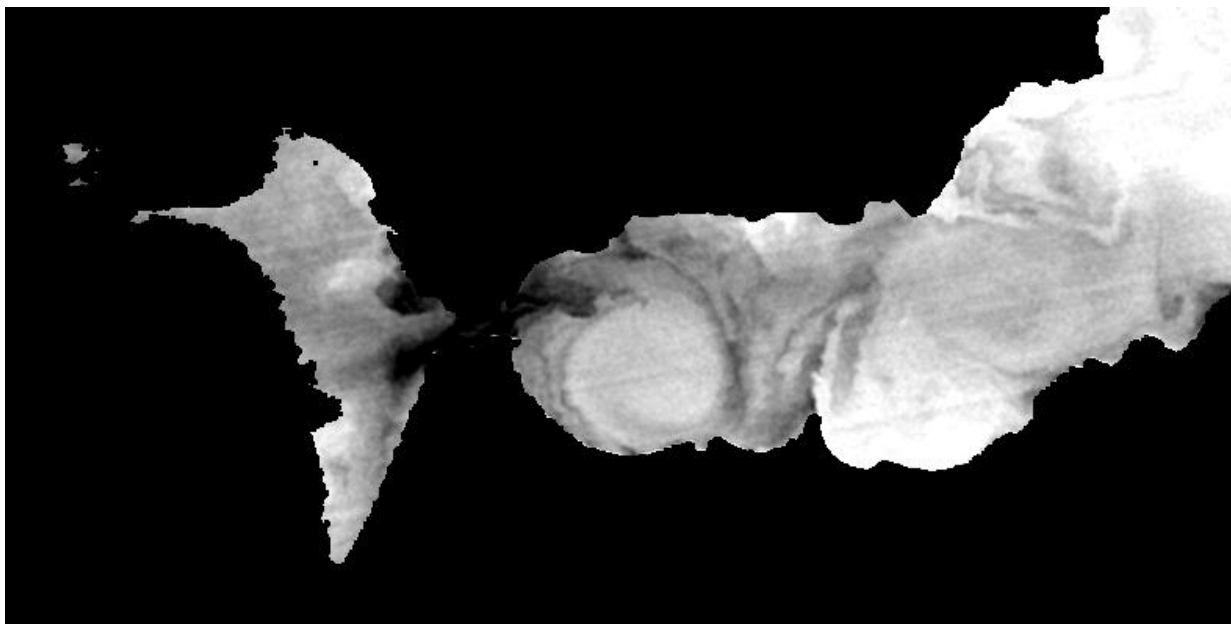


Figura 1. Imagen SST de NOAA-16 con máscaras de nubes y tierra, día 19-05-03.

Una vez establecidas las imágenes SST, georreferenciadas, y con las máscaras de nubes y de tierra aplicadas, se procedieron a realizar las medidas de la temperatura radiométrica mediante los diversos algoritmos considerados. La posición de Boya Alborán es fija y conocida, por lo que la medida de SST se realiza en el píxel con coordenadas más próximas a la boya. Este píxel, por el proceso de georreferenciación seguido, tiene en todas las imágenes las mismas coordenadas de columna y fila.

Como a partir de cada imagen se obtenido varias imágenes SST, por la aplicación de los distintos algoritmos, se va completando una tabla en el que se recojan todos estos valores. Como se ha indicado en el apartado anterior, los algoritmos calculados fueron Day-split, NLSST, MCSST y Sobrino para imágenes diurnas; para las nocturnas, se añadió el algoritmo nocturno de ventana partida, Night-split. La diferencia entre las *split window* y MCSST estriba en que aquéllas han experimentado una segunda georreferenciación mediante la identificación automática de puntos de control.

Los valores experimentales de la boya, de sensibilidad de décimas de grado, se contrastaron con los datos de SST para establecer qué tipo de imagen obtenía mejor resultado. Lo que se desea es encontrar el tipo de imagen, según la plataforma, o según el algoritmo, que mejor se ajustara mediante un ajuste lineal a los datos experimentales de Boya Alborán. Es decir, se han evaluado la plataforma, los algoritmos y la diferenciación del carácter diurno y nocturno de la imagen. También se han ajustado estos datos, en vez de al dato de la boya, a una media móvil dada por la siguiente expresión (tiempo dado en horas):

$$T'(t_0) = 0,1 * T(t_0 - 2) + 0,2 * T(t_0 - 1) + 0,4 * T(t_0) + 0,2 * T(t_0 + 1) + 0,1 * T(t_0 + 2)$$

Los satélites activos en el intervalo temporal considerado son el satélite NOAA 14, 15, 16 y 17. El satélite NOAA-14 se desconectó el 7 de octubre de 2002, al ser reemplazado por NOAA-16, satélite en activo desde el año anterior, pero bien calibrado sólo desde enero de 2002. Por lo tanto, dentro de la ventana temporal considerada –desde junio de 2002-, las imágenes de NOAA-14 disponibles se reducen a unos pocos meses. Sin embargo, en ese lapso de tiempo, el catálogo NESDIS ofrece imágenes procedentes de este satélite a razón de una diurna y una nocturna por día. Aun descartando las imágenes que no cumplieran los criterios mencionados en el apartado anterior, fue posible conseguir una colección de imágenes de NOAA-14.

Al contrario sucedió con los satélites NOAA-15 y NOAA-17. El servidor NESDIS de imágenes de NOAA no ofrecía apenas imágenes de estos satélites, ni en formato HRPT ni en LAC, que resultan compatibles al tener formatos 1b idénticos. Sí las ofreció, sin embargo, para otras localizaciones en el mundo, para la misma época.

Por lo tanto, no se pudo obtener una muestra amplia de imágenes de estos satélites, que se mantuvieron coexistiendo varios años.

En cambio, NOAA-16 presenta una amplia disponibilidad de imágenes para el ámbito espacial considerado; y será, por lo tanto, el satélite que más imágenes válidas aporte, de los cuatro satélites activos durante el tiempo para el que hay mediciones de temperatura de superficie del mar en Boya Alborán.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Haciendo el recuento de las imágenes válidas según los criterios antes expuestos, resultaron 13 imágenes para el satélite NOAA-14, de las cuales 10 son diurnas y 3 nocturnas; y 116 para el satélite NOAA-16, subdivididas en 58 diurnas, y 58 nocturnas.

Una comparación conjunta las medidas de SST de todas las imágenes frente a los datos de Boya Alborán, para aquellas en las que haya datos –hay que recordar que estos datos de la boya están disponibles hasta junio de 2003–, muestra dos claras regiones, una por cada satélite, cada una con su tendencia. La correlación global es baja –así, se calcula un coeficiente de determinación r^2 de 0,416–; y es obligado, por lo tanto, distinguir la variable satélite a partir de este momento en todas las consideraciones sucesivas. Como ejemplo se muestra la Figura 2 (temperaturas en °C).

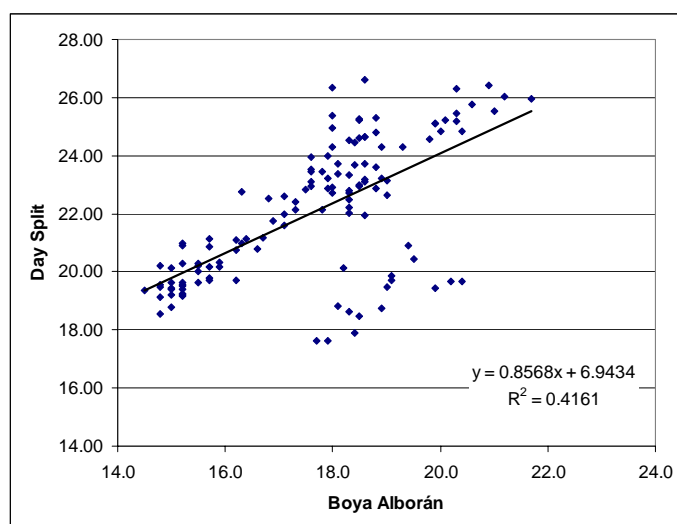


Figura 2. Conjunto completo de datos.

En cuanto al satélite NOAA-14, la escasa cantidad de imágenes hace que resulten poco extrapolables los resultados en el caso nocturno. Sin embargo, se observa una concordancia bastante baja en los resultados de las imágenes, independientemente de su carácter diurno o nocturno, con los datos experimentales de la boya. Si se repiten los cálculos para los casos anteriores eliminando las tres imágenes nocturnas de NOAA-14, antes de su desconexión el 7 de octubre de 2002, se obtienen unos resultados semejantes a cuando se consideraban todas en conjunto. Dado el escaso número de imágenes nocturnas de este satélite, no se ha considerado el caso de imágenes nocturnas por separado.

Las imágenes de NOAA-16 se han separado en diurnas y nocturnas, y se ha procedido a ajustar los diversos algoritmos de obtención de la SST, en relación al dato de Boya Alborán, ya sea el dato bruto, o una media temporal ponderada mediante una media móvil. Para cada caso, de ambos satélites, se ha obtenido un coeficiente de determinación r^2 . Los resultados evaluando todas las imágenes se muestran a continuación, en la Tabla 1:

Tabla 1. Coeficientes r^2 para los distintos algoritmos de SST.

Satélite		Day Split	MCSST	NLSST	Sobrino	Night Split
NOAA-14						
	Todas:					
	Boya Alborán	0.483	0.357	0.354	0.385	
	Boya ponderada	0.478	0.339	0.366	0.394	
	Diurnas:					
	Boya Alborán	0.483	0.362	0.370	0.398	
	Boya ponderada	0.483	0.352	0.391	0.416	
NOAA-16						
	Todas:					
	Boya Alborán	0.751	0.782	0.790	0.770	
	Boya ponderada	0.768	0.803	0.810	0.790	
	Diurnas:					
	Boya Alborán	0.741	0.801	0.819	0.788	
	Boya ponderada	0.731	0.802	0.812	0.781	
	Nocturnas:					
	Boya Alborán	0.802	0.799	0.811	0.780	0.799
	Boya ponderada	0.851	0.849	0.860	0.823	0.849

A continuación se muestran varias de estas gráficas cuyo r^2 queda reflejado más arriba; no se contemplan todos los casos puesto que la distribución de las nubes de puntos no varía sustancialmente según el algoritmo, para un mismo satélite y mismo carácter (diurno, nocturno o ambos). En todas las figuras, las unidades en abscisas y ordenadas son °C.

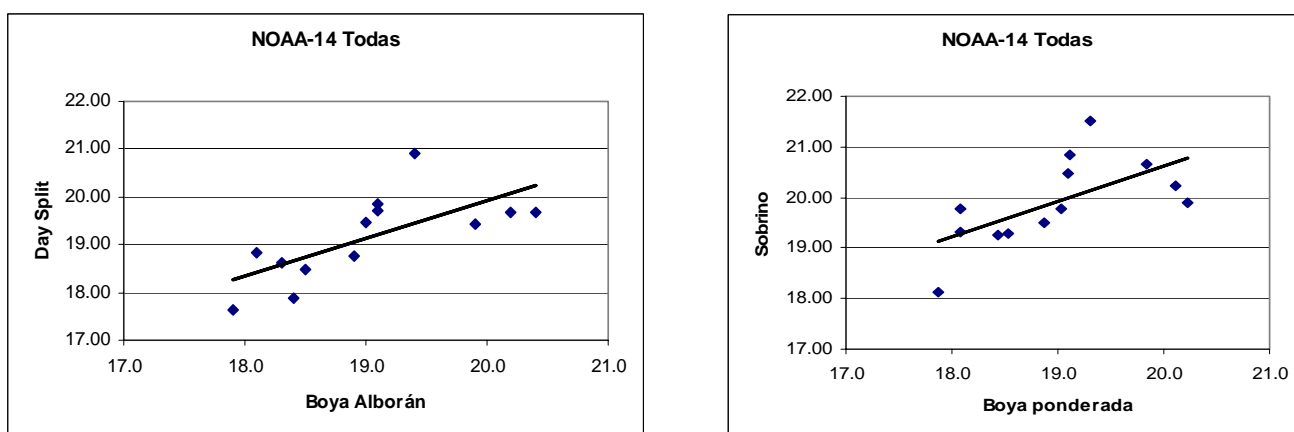


Figura 3. Distribución de puntos con todas las imágenes de NOAA-14.

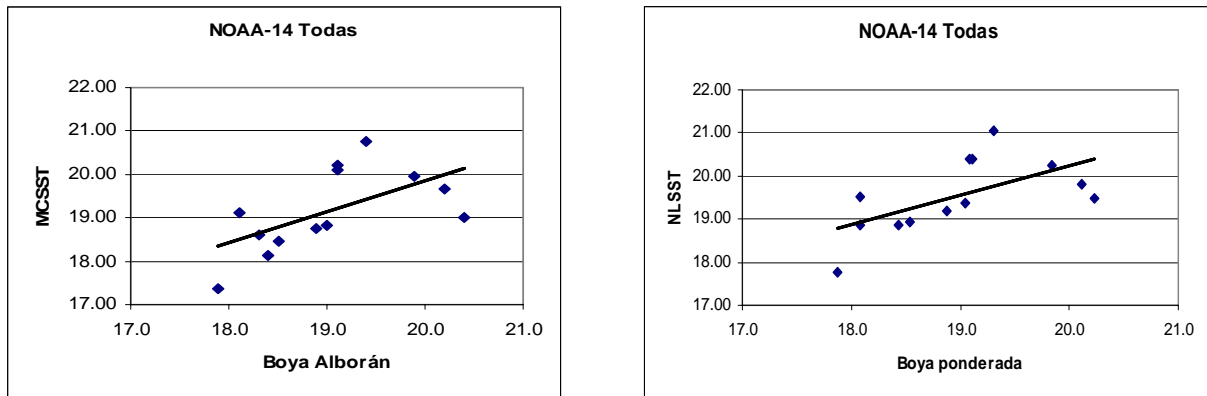


Figura 4. Distribución de puntos con todas las imágenes de NOAA-14.

El ajuste de la nube de puntos a una recta obtiene un r^2 bajo, en toda circunstancia inferior a 0,5, lo que desaconseja el empleo de esta plataforma (NOAA-14) para SST, al menos en el intervalo temporal considerado, que coincide con sus últimas órbitas en servicio. El mejor resultado se da con el algoritmo de Day Split, y el peor, con MCSST.

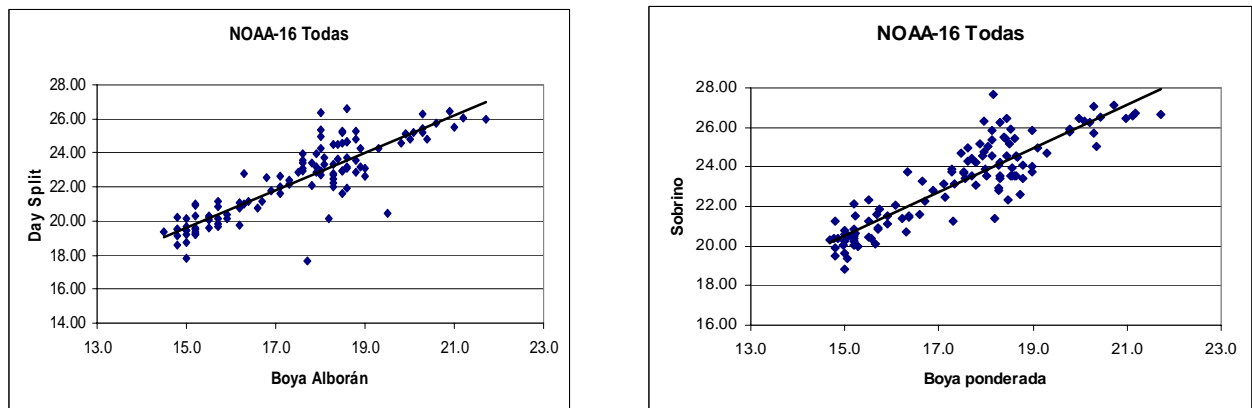


Figura 5. Distribución de puntos con todas las imágenes, diurnas y nocturnas, de NOAA-16.

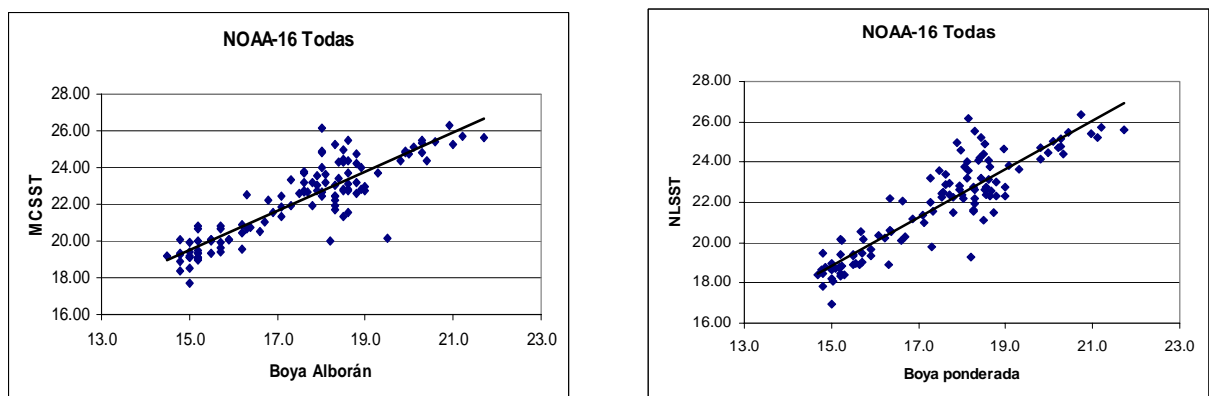


Figura 6. Distribución de puntos con todas las imágenes de NOAA-16.

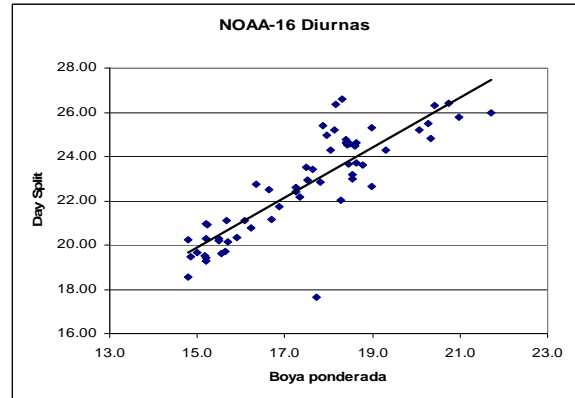
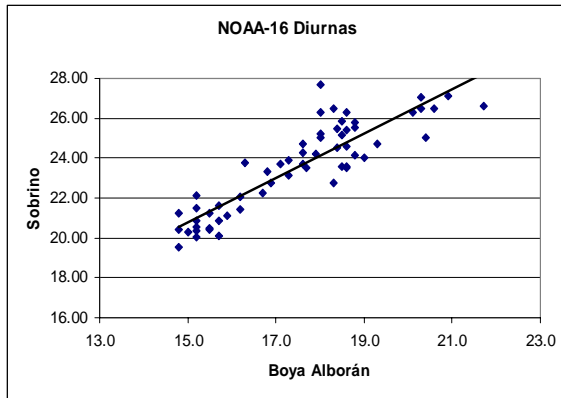


Figura 7. Distribución de puntos considerando sólo las imágenes diurnas de NOAA-16.

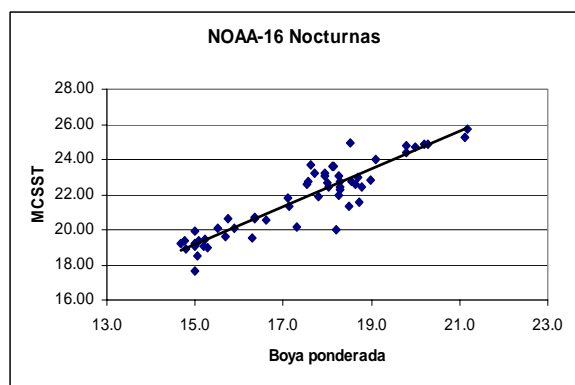
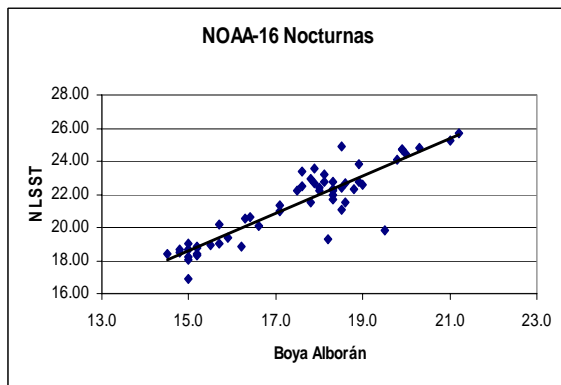


Figura 8. Distribución de puntos considerando sólo las imágenes nocturnas de NOAA-16.

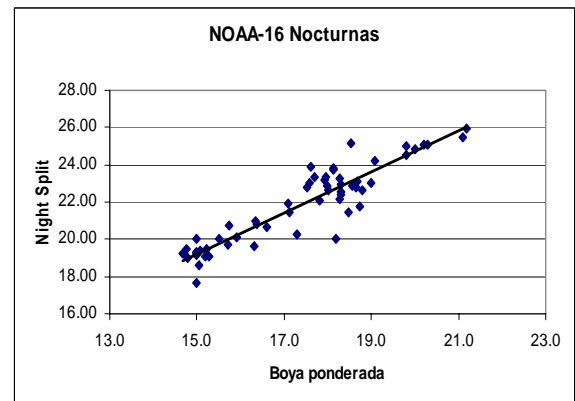
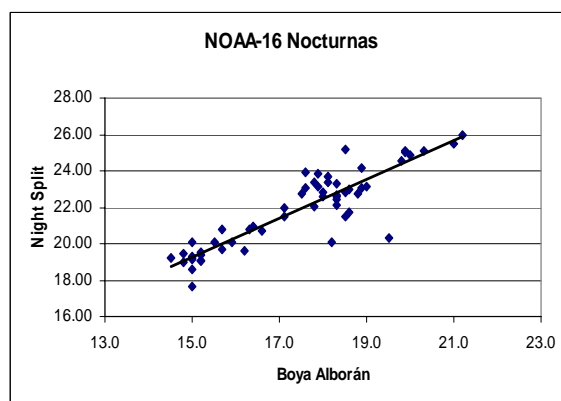


Figura 9. Distribución de puntos de sólo imágenes nocturnas de NOAA-16 con Night-split.

En cuanto a NOAA-16, la correlación con los datos de la boya de todas las imágenes en conjunto, muestra que el mejor algoritmo, aquél con mayor coeficiente de determinación es el NLSST, con un valor de de 0,819 para imágenes diurnas, que mejora sustancialmente al obtenido por el satélite NOAA-14. Si se considera una ponderación de los datos de Boya Alborán, mediante la media móvil explicada con anterioridad, el r^2 aumenta hasta 0,810 para este mismo algoritmo. Por otra parte, el ajuste con NLSST es significativo, ya que se le realizó una prueba F , al 95% de nivel de confianza, y el resultado fue positivo.

Este algoritmo NLSST es también el que marca mejor ajuste separando las imágenes entre diurnas y nocturnas; en el caso nocturno, mejora el resultado una ponderación; en el caso diurno, no, aunque el descenso no es excesivo. De hecho, NLSST supera a los algoritmos específicos de ventana partida, Day-split y Night-split; que por otra parte, arrojan ajustes muy similares para las imágenes nocturnas.

Este hecho del mejor ajuste del algoritmo NLSST contrasta con los resultados obtenidos en otros trabajos anteriores, como el de Yu *et al.* (1996) –aunque trabaja con el formato GAC- y Li *et al.* (2001), en donde se constata un mejor comportamiento del algoritmo MCSST.

En la mayoría de los casos, el algoritmo Day-split es el que peores resultados obtiene para NOAA-16, exceptuando el caso de las imágenes nocturnas, en donde es el algoritmo de Sobrino. Éste, en los restantes casos, arroja un resultado intermedio entre NLSST y Day-split.

Por último, se comentará brevemente varias características sobre la interpretación visual de las imágenes. Se han analizado para el periodo considerado dirección y desarrollo de la pluma. Sobre direcciones, son predominantes las plumas hacia el este (50% del total de imágenes) y hacia el noreste (un 21%), teniendo presente que ha habido un 15% de imágenes que no se han podido asignar. Estas situaciones corroboran lo descrito en Viúdez, A, *et al.* (1998).

Un segundo aspecto es el desarrollo: se ha observado que las plumas alcanzan gran envergadura tras varios días dentro del mar de Alborán –las mayores se detectan pasados siete días-, así como la frecuencia de creación de plumas, que se ha estimado en pocos días, entre tres y cinco. Esto no impide que haya épocas de circulación tranquila en la que no se aprecia ninguna estructura de pluma, lo que sucede en un 25% de las imágenes de la colección.

Futuros trabajos pueden ir encaminados a determinar otras características de la pluma a partir de la colección de imágenes de SST, como puede ser hallar la diferencia de temperatura entre las masas de agua, o estudiar si la estación del año marca algún patrón (de intensidad, de frecuencia o dirección) en la pluma.

CONCLUSIONES

1. El algoritmo que mejor correla los datos de Boya Alborán y las imágenes SST es el algoritmo NLSST en el caso de la plataforma NOAA-16, con un valor r^2 de 0,860. Este ajuste es estadísticamente significativo al 95% de nivel de confianza.

2. Frente a ajustes buenos del satélite NOAA-16 con valores de r^2 no inferiores a 0,740 y en varios casos superior a 0,800, los ajustes de la plataforma NOAA-14 resultan muy poco significativos por su bajo coeficiente de determinación. La coincidencia del periodo considerado con la época de desactivación de este satélite parece haber provocado que por una parte, no se dispongan de tantos casos como en NOAA-16; y por otra, que se contradigan los resultados observados en Li *et al.* (2001) respecto a NOAA-14.

3. Pese a estar diseñado específicamente para imágenes nocturnas, el algoritmo de ventana partida Night-split muestra unos r^2 similares a los de Day-split, aplicados sobre la misma imagen nocturna.

4. En general se observa una mejoría en los ajustes si se considera no los datos registrados por Boya Alborán para la época de la toma, sino en vez de un único valor, el correspondiente a una media ponderada (media móvil) que involucre los datos registrados hasta con dos horas de antelación y dos de retraso. El hecho de incluir una ponderación parece actuar positivamente sobre las mediciones experimentales, pues puede entenderse que atenúe alguna fluctuación en el equipo que pudiera darse.

5. El ajuste entre los datos de Boya Alborán y los valores obtenidos de las imágenes SST para las coordenadas geográficas donde se localiza la boya nunca es la recta identidad, lo que enseña que existen divergencias entre ambos valores, medido y calculado, respectivamente.

6. En un análisis cualitativo, a lo largo de las imágenes SST calculadas, se ha constatado que el desarrollo de las plumas en el mar de Alborán es un hecho recurrente, con tendencia a seguir, en sus fases incipientes, la dirección este y en menor medida, hacia el noreste. Se detecta también cierta habitualidad respecto a las fases avanzadas de la pluma.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al profesor José Juan Alonso del Rosario (Universidad de Cádiz), por proporcionarles los datos empíricos de la Boya Alborán, así como al ingeniero técnico en Topografía Rafael Baena Calatrava por la implementación del módulo de cálculo de SST en IDL.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnone, R. (1987): Satellite-derived color-temperature relationship in the Alboran Sea. *Remote Sensing of Environment*, 23.
- Baldacci, A. et al. (2001): A study of the Alboran Sea mesoscale system by means of empirical orthogonal function decomposition of satellite data. *Journal of Marine Systems*, 29.
- Chuvieco, E. (2002): *Teledetección ambiental*. Ed. Ariel. Barcelona.
- Derrien, M. et al. (1993): Automatic cloud detection applied to NOAA-11 AVHRR imagery. *Remote Sensing of Environment*, 46.
- Goward, SN. et al. (1991): Normalized difference vegetation index measurements from the Advanced Very High Resolution Radiometer. *Remote Sensing of Environment*, 35.
- Li, X. et al. (2001): Validation of coastal sea and lake surface temperature measurements derived from NOAA/AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 22.
- NOAA (2005): *NOAA KLM user's guide with NOAA-N,-N' supplement*: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/pod-guide/ncdc/docs/klm/index.htm>
- NOAA Coefficients: <http://manati.orbit.nesdis.noaa.gov/sst/coefficient.html>
- Ontar Corporation (2004): *PcModWin manual*: <http://www.ontar.com>
- Sanders, RW. et al. (1988): An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances for AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 9.
- Sobrino, JA. et al. (1993): Impact of the atmospheric transmittance and total water vapor content in the algorithms for estimating satellite sea surface temperature. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 31.
- Tintorè, J. et al. (1988): A study of an intense density front in the Eastern Alboran Sea: the Almeria-Oran front. *Journal of Physical Oceanography*, 18.
- Viúdez, A. et al. (1998): On the upper layer circulation in the Alboran Sea. *Journal of Geophysical Research*, 103.
- Yu, Y. et al. (1996): Satellite derived sea surface temperature variability in the Western tropical Pacific Ocean. *Remote Sensing of Environment*, 58.

Zheng, QA. et al. (1982): Determination of winter temperature patterns, fronts, and surface currents in the Yellow Sea and East China Sea from satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 12.

Poquet, D.; Belda, F. y García-Haro, F.J. (2008): Seguimiento y regionalización de la sequía en la Península Ibérica mediante SPI y técnicas de teledetección. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 707-713. ISBN: 978-84-96971-53-0.

SEGUIMIENTO Y REGIONALIZACIÓN DE LA SEQUIA EN LA PENÍNSULA IBÉRICA MEDIANTE SPI Y TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN

Poquet, D.¹; Belda, F.¹ y García-Haro, F.J.²

(1) Delegación Territorial en Valencia. AEMET (Agencia Estatal de Meteorología). C/ Botánico Cavanilles, 3 (46010) Valencia. dpoquet@inm.es, fbelda@inm.es

(2) Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica. Universidad de Valencia. C/ Dr. Moliner, 50 (46100) Burjassot (Valencia). j.garcia.haro@uv.es

RESUMEN

En España la orografía tiene una gran importancia en el clima de cada región ya que coinciden grandes cordilleras, mesetas, cuencas hidrográficas y la influencia de las costas que generan distintas clases de climas a lo largo de poca extensión territorial.

Para estudiar la climatología de la Península Ibérica, y sobre todo sus episodios extremos de sequía, vamos a partir de los registros de precipitación de la Agencia Estatal de Meteorología española de los últimos 58 años. Utilizamos una serie de algoritmos desarrollados con IDL que nos permiten tratar las series de datos y generar, mediante métodos de interpolación como el kriging y el cokriging, una base de datos con imágenes multitemporales del Índice Estandarizado de Precipitación para la Península Ibérica a una resolución de 2 km. Para la visualización y tratamiento de dichas imágenes haremos uso de la aplicación ENVI que nos permite una gran variedad de opciones.

A partir de estas imágenes y haciendo uso de un Modelo Digital del Terreno pasaremos a analizar nuestros resultados obtenidos junto con la distribución orográfica, pudiendo de esta forma hacer una regionalización de España en función de la distribución de orientaciones y pendientes de los sistemas montañosos, además de tener en cuenta las situaciones sinópticas predominantes en cada zona.

Palabras Clave: Kriging, Modelo Digital del Terreno, SPI, IDL-ENVI, Precipitación

ABSTRACT

In Spain the orography plays a significant role in the climate of each region, there coincide large mountain chains, plateaus, hydrographic basins and the influence of the costs that generate different kinds of climates along few territorial extension.

To study the climatology of Iberian Peninsula, and especially drought extreme episodes, we go from precipitation records of the State Agency for Meteorology of Spain for the last 58 years. We use a series of algorithms developed with IDL that allow us to treat the data series and generate, through interpolation methods such as kriging and cokriging, a database with multitemporary images of SPI (Standardized Precipitation Index) for the Iberian Peninsula with a resolution of 2 km. For the visualization and treatment of these images we will use the application ENVI that allows us to a great variety of options.

From these images and using a Digital Terrain Model we proceed to analyze our obtained results with the orographical distribution and can thus make a regionalization of Spain depending on the distribution of orientations and slopes of the mountainous systems, as well as take into account the synoptic situations prevailing in each area.

Key Words: Kriging, Digital Terrain Model, SPI, IDL-ENVI, Precipitation.

INTRODUCCIÓN

Las sequías son situaciones climáticas extremas que tienen efectos directos e indirectos tanto en el medio ambiente como en la sociedad que las sufren. Aparte del impacto que producen en la agricultura, ganadería y el consumo humano, sus repercusiones llegan a afectar al desarrollo industrial y la política además de los consabidos impactos medioambientales que producen. Por estas razones cobra importancia poder estudiar las situaciones y regiones que más propensas son a sufrir estos periodos extremos.

Nuestro trabajo muestra un seguimiento de las sequías durante los últimos 58 años, reflejando los periodos secos que se han ido sucediendo y viendo su evolución e impacto en las distintas regiones climáticas de la Península.

Mediante las herramientas IDL y ENVI hemos generado una serie de algoritmos que nos han permitido crear una base de imágenes multitemporales de precipitaciones y del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), y tratarlas de forma que podemos visualizar y generar gráficos para analizar la evolución

ZONA DE ESTUDIO

Nuestro estudio consiste en analizar los patrones de precipitación y los periodos de sequía que ocurren o han tenido lugar en la parte española de la Península Ibérica, de esta forma nuestros resultados se centrarán en la España peninsular propiamente dicha, sin tener en cuenta las ciudades españolas del norte de África ni las Islas Baleares o Canarias ya que a la hora de realizar la interpolación de los datos de precipitación no tenemos suficientes estaciones en esas zonas para obtener los resultados satisfactorios que esperamos.

METODOLOGÍA

Datos

Los datos utilizados en este estudio para mapear la precipitación y el SPI en la Península Ibérica son los registrados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMet) durante el periodo 1950-2007. La red de observatorios de la Agencia repartidos por todo el territorio nacional está compuesta por estaciones automáticas y por observatorios supervisados tanto por personal de AEMet como por colaboradores altruistas. Esta red cuenta en la actualidad con unas 2.600 estaciones operativas, habiendo llegado a tener un máximo de 4.800 estaciones durante este periodo (Poquet et al., 2008).

Modelo Digital del Terreno

Para el análisis de los resultados y la posterior regionalización de la Península en función de las precipitaciones registradas y de las imágenes del SPI obtenidas superpondremos un Modelo Digital del Terreno a una resolución espacial de 2 km, de esta forma podremos analizar

El Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)

En 1993 McKee, Doesken y Kleist comenzaron a desarrollar un índice con el fin de definir y cuantificar el déficit de precipitación a diferentes escalas temporales debido a la importancia que conlleva poder medir la sequía y su impacto en la disponibilidad de los recursos hídricos. El SPI refleja las anomalías de la precipitación de ahí que el hecho de calcularlo a distintas escalas temporales nos resulte de gran utilidad a la hora de estudiar el balance hídrico de la zona de estudio, siendo significativo el SPI a corto plazo para evaluar la humedad del suelo, a medio plazo para estudiar las precipitaciones estacionales y a largo plazo para identificar las anomalías en ríos, aguas subterráneas y embalses.

Tal como queda reflejado en la Tabla 1 el SPI puede tomar valores positivos y negativos alrededor del 0, que sería el valor normal. Los valores positivos indican una precipitación superior a la media mientras que los negativos nos muestran un déficit en las precipitaciones registradas durante ese periodo de tiempo.

También establecieron un criterio (McKee et al., 1993) para definir un periodo de sequía a cualquier escala de tiempo. La sequía existirá cuando tengamos un SPI continuado menor que -1.0 y finalizará cuando el Índice pase a ser positivo. La magnitud de la sequía vendrá dada por la suma del SPI de todos los meses que dure el periodo seco.

Una de las ventajas de medir los periodos de sequía mediante el SPI es que es un índice sencillo que sólo necesita como variable la precipitación frente a otros índices más complicados y que barajan una gran cantidad de variables, aunque por ello es necesario una buena calidad de las series de datos registrados que vamos a utilizar (Hayes et al., 1999).

Tabla 1. Clasificación del SPI para la sequía

VALOR DEL SPI	DESCRIPCIÓN
Mayor de 2.0	Extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	Muy húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente húmedo
0 a 0.99	Ligeramente húmedo
0 a -0.99	Ligeramente seco
-1.0 a -1.49	Sequía moderada
-1.5 a -1.99	Sequía severa
Menor de -2.0	Sequía extrema

Para calcular el SPI necesitamos una serie larga de datos de precipitación para analizar el periodo deseado. Esta serie la ajustamos a una distribución de probabilidad gamma, que según Thom (1966) y otros autores es la más apropiada para las series climatológicas temporales de precipitación, la cual transformaremos a una distribución normal donde el valor medio del SPI será cero.

Kriging

El kriging es un método geoestadístico de interpolación que no utiliza información topográfica (elevación del terreno) a diferencia del cokriging que sí que lo hace. Nosotros hemos elegido el kriging frente al cokriging porque nuestra intención a la hora de analizar los resultados obtenidos de la interpolación, en forma de mapas del SPI de la Península Ibérica, es aplicar un Modelo Digital del Terreno y a partir de la imagen en tres dimensiones estudiar las diferentes regiones caracterizadas por las situaciones sinópticas predominantes que marcarán el clima y los patrones de precipitación de la zona. Esta decisión viene apoyada también en el hecho de la relación entre precipitación y elevación del terreno es menor cuanto más grande es la escala de estudio (Phillips et al., 1992), por eso como nuestra regionalización será a escala peninsular consideramos que el error cometido será despreciable para nuestros propósitos.

Como todo método geoestadístico el objetivo del kriging es interpolar valores a puntos o áreas de los que no tenemos información a partir de otros puntos de los que sí tenemos datos. Toda interpolación asigna un peso a los puntos vecinos respecto al punto del que vamos a interpolar pero este peso varía según el método utilizado, para el caso del kriging este peso asignado tiene en cuenta la proximidad espacial de los puntos a interpolar con una relación inversa entre el peso y la distancia de los puntos.

Para nuestro estudio hemos desarrollado una serie de algoritmos en IDL para realizar el kriging sobre nuestra base de datos de precipitación. De esta forma, al ejecutar el programa, interpolamos los datos registrados en las estaciones al resto de territorio donde no tenemos estaciones de referencia. Lo que obtenemos es una serie de imágenes multitemporales del SPI para la Península donde tenemos mapeado el SPI para cada punto de grid en todas las imágenes creadas.

A la hora de interpolar con el kriging hemos mantenido todas las series pluviométricas tal cual las obtenemos de la base de datos de AEMet sin hacer ninguna criba, la razón de esto último radica en que las series con posibilidades de tener menos extensión temporal por haber desaparecido la estación que las registraba, suelen ser series de lugares alejados de las estaciones principales o de grandes núcleos de población lo que nos suponía una pérdida de información con el consiguiente empobrecimiento de los resultados obtenidos mediante la interpolación.

RESULTADOS

Utilizando el mismo procedimiento explicado anteriormente para obtener las imágenes de la Península con el SPI, construimos una imagen en la que mostremos la precipitación media registrada en nuestro periodo de estudio. Comparando esta imagen con una clasificación sinóptica (Ribalaygua y Borén., 1996) de las situaciones meteorológicas predominantes en la Península y que nos marcan el clima existente en la región, y aplicando el Modelo Digital del Terreno que nos permite visualizar las cordilleras, depresiones, valles y cuencas hidrográficas, nosotros establecemos una zonificación para analizar las regiones con una mayor tendencia a sufrir periodos extremos, ya que una zona que recibe pocas precipitaciones a lo largo del año siempre será más propensa a padecer las consecuencias de una sequía.

De acuerdo con la información topográfica que nos proporciona el MDT, los registros de precipitación más elevados corresponden a cordilleras y cadenas montañosas, de igual forma que dichas zonas coinciden con las regiones que presentan un mayor número de situaciones meteorológicas favorables para la lluvia. También vemos que las cuencas de los ríos y las zonas situadas detrás de grandes cadenas montañosas registran menos precipitaciones.

En la Península Ibérica se han sucedido diversos episodios de sequía en los últimos 58 años, de los cuales los más significativos se localizan en los primeros años de las décadas de los 80 y 90 (Rico, 2004), y a partir del año 2004 hasta la actualidad. Como se puede observar en la Figura 2 dichos periodos secos salen reflejados con índices SPI menores de cero, en esta misma figura podemos apreciar que las sequías son más intensas en unas regiones que en otras, como es el caso de la sequía que sufre la Península desde 2004 donde tiene un impacto e intensidad mayores en Cataluña que en el resto del territorio.

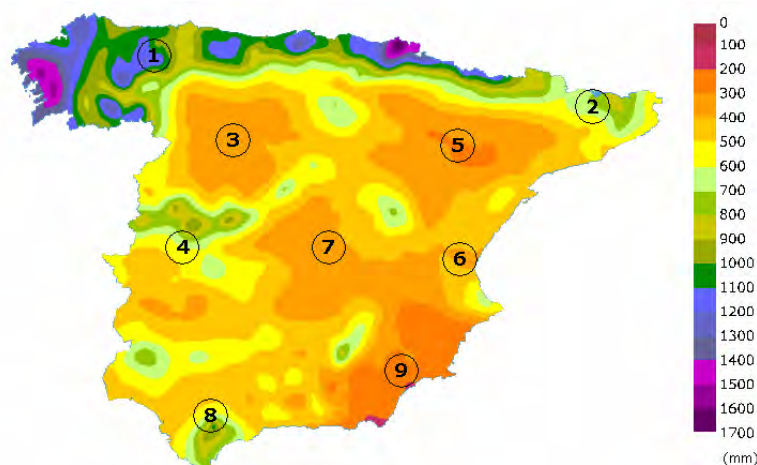


Figura 1. Regiones climáticas señaladas sobre la precipitación media anual registrada entre 1950 y 2007.

En la Figura 3 tenemos un ejemplo de cómo se visualiza mediante el programa ENVI una imagen obtenida después de la interpolación realizada mediante el kriging. En ella podemos ver la situación que había en mayo del año 1995, en pleno periodo de sequía, donde más del 60% del territorio estaba bajo los efectos de una sequía moderada, severa e incluso extrema, sobre todo en gran parte del centro y sur peninsular. Esta sequía se mantu-

vo desde finales de 1990 hasta empezado el año 1996, afectando la mayor parte del tiempo al centro de la Península Ibérica, donde la costa este fue la zona menos afectada durante los primeros años aunque acabó viéndose afectada hacia el final de dicho periodo de tiempo.

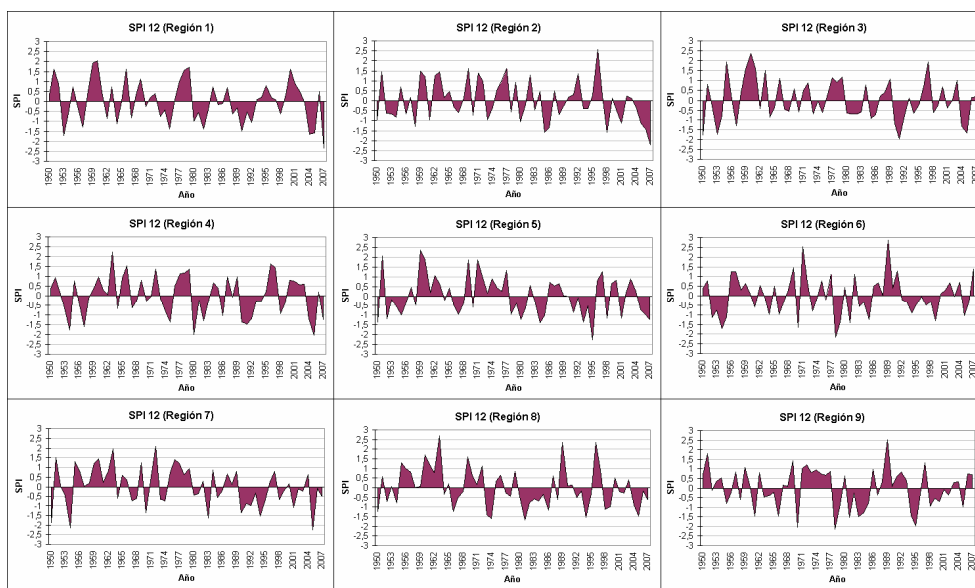


Figura 2. Evolución temporal del SPI calculado para 12 meses en 9 regiones distintas de la Península Ibérica.

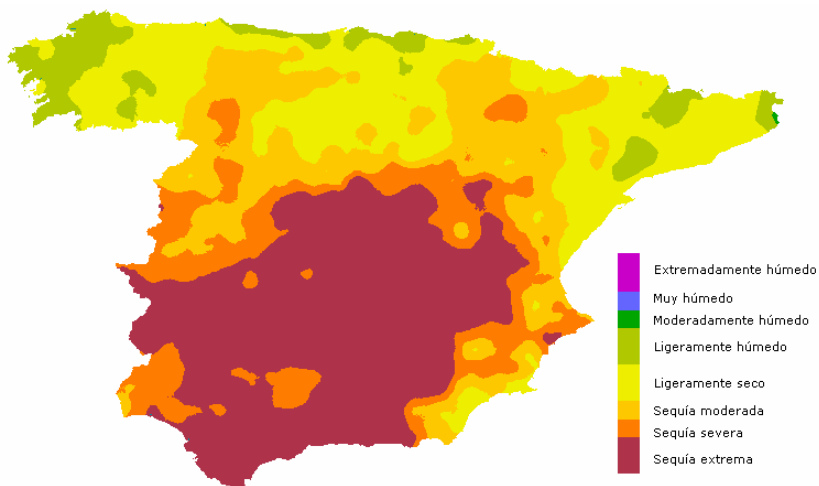


Figura 3. SPI12 de la Península en mayo de 1995.

CONCLUSIONES

Nuestro trabajo concluye que mediante la metodología empleada en este estudio se pueden analizar perfectamente los periodos de sequía visualizando las imágenes obtenidas del SPI a largo plazo (12 o 48 meses), ya que de esta forma podemos apreciar correctamente las áreas que tienen índices SPI menores que cero y qué magnitud alcanza la sequía en esa zona.

La elección del método de interpolación escogido (kriging) ha sido acertada para nuestros propósitos frente a la opción que teníamos enfrente (cokriging), debido a la escala espacial en que trabajamos y que el estudio de

la sequía se realiza para grandes zonas y no para puntos aislados del mapa. La ausencia de información topográfica a la hora de interpolar la suplimos mediante la posterior inclusión del MDT.

Al generar una base de datos con las imágenes del SPI a distintas escalas temporales nos permite analizar el SPI en cualquier punto de nuestra zona de estudio a corto, medio y largo plazo. De igual forma con la aplicación ENVI podemos realizar un perfil espectral de las variaciones del SPI en un periodo de tiempo dado, o incluso realizar ese análisis para un mes en concreto y ver la evolución y los desvíos de dicho mes a lo largo de los años. Así podremos estudiar tanto un episodio aislado como una situación persistente y compararlos con épocas pasadas para analizar y establecer su importancia con respecto a otras situaciones similares.

Verificamos que con el método empleado en el presente trabajo podemos localizar los periodos de sequía ocurridos entre 1950 y 2007 que han sido estudiados y reflejados en la bibliografía existente por otros autores.

Concluimos que durante los últimos 58 años las zonas con más propensión a padecer periodos extremos de sequía se localizan en el centro y sur de la Península, siendo el sureste una parte muy castigada por la poca precipitación recibida y las épocas de sequía generalizada en la Península Ibérica.

En diciembre de 2007, la sequía afectaba a gran parte del país pero tenía una especial intensidad en la zona nordeste de la Península, siendo la mayor parte de Cataluña la que sufría con más dureza sus efectos. De forma similar, en Galicia, parte de la Cordillera Cantábrica y el centro peninsular se vieron afectados por episodios secos de gran importancia en los años 2005, 2006 y 2007, haciendo peligrar cosechas y produciendo recortes en los suministros de agua en algunas partes de la población.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto CICYT (Ref. CGL2005-04202): "DULCINEA. Desarrollo de Metodologías para caracterizar las cubiertas vegetales a partir de sensores de última generación. Cambio Climático y su incidencia en la vegetación de la Península Ibérica"

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Hayes, M., Svoboda, M., Wilhite, D.A. y Vanyarkho, O. (1999): Monitoring the 1996 drought using SPI. *Bulletin of American Meteorological Society*, 80 (3): 429-438.

McKee, T.B., Doesken, N.J. y Kliest, J. (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA*. American Meteorological Society: Boston, MA, pp. 179-184.

Phillips, D.L., Dolph, J. y Marks, D. (1992): A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 58 (1992): 119-141.

Poquet, D., Belda, F. y García-Haro, F.J. (2008): Regionalización de la sequía en la Península Ibérica desde 1950 hasta 2007 a partir de SPI y una modelización digital del terreno. *XXX Jornadas Científicas de la Asociación Española de Meteorología*.

Ribalaygua, J. y Borén, R. (1996): Clasificación sinóptica a partir de patrones de precipitación. *Biblioteca de Módulos TEMPO de AEMet: Modelos conceptuales a escala sinóptica*.

Rico, A. M. (2004): Sequías y abastecimientos de agua potable en España. *Boletín de la A.G.E.*, 37-2004: 137-181.

Thom, H.C.S. (1966): Some methods of Climatological Analysis. *WMO Technical Note*, 81: 116-22.

Quijada Muñoz, Javier; Moreira Madueño, José Manuel; Montes Gómez, José Eugenio y Romero Romero, Daniel (2008): Aproximación a una metodología para la evaluación del impacto paisajístico derivado de diversas actuaciones y la valoración de la calidad paisajística del territorio, basada en sistemas de información geográfica. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 714-728. ISBN: 978-84-96971-53-0.

APROXIMACIÓN A UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO PAISAJÍSTICO DERIVADO DE DIVERSAS ACTUACIONES Y LA VALORACIÓN DE LA CALIDAD PAISAJÍSTICA DEL TERRITORIO, BASADA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Quijada Muñoz, Javier¹; Moreira Madueño, José Manuel¹; Montes Gómez, José Eugenio y Romero Romero, Daniel²

(1) Dirección General de Participación e Información Ambiental. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. josem.moreira@juntadeandalucia.es, javier.quijada@juntadeandalucia.es

(2) Técnico de la Red de Información Ambiental de Andalucía. danielrr@arquitectosdecadiz.com

RESUMEN

En los últimos años, la preocupación sobre el aspecto patrimonial del paisaje en Andalucía de ha multiplicado por un factor de mil. Esto es debido, en parte, al llamado “boom urbanístico”, pero también afecta a la disposición de nuevas infraestructuras con las que los habitantes del territorio no están dispuestos no ya a convivir, sino a sencillamente verlas. Hemos perdido, debido a la sobreconstrucción en costas y parajes, una gran cantidad de vistas que eran patrimonio de todos.

La solución a esta situación no es fácil, dado que los instrumentos legales al uso pasan por la delimitación de una línea de protección a partir de la cual lo no protegido es campo abonado, y en el caso del paisaje el trazado de esta línea suele resultar generalmente dudoso. En ocasiones, las figuras de protección del paisaje se quedaban en lo evidente, siendo claramente insuficientes; en otras ocasiones eran demasiado amplias, de manera que la aplicación legal de figuras de protección era poco menos que imposible, o bien tenían como efecto secundario indeseable la asfixia económica de los municipios, últimos responsables de la gestión del suelo, que durante muchos años han visto en la reclasificación de suelos una manera fácil de recabar fondos.

Destaca, sobre todo, la abismal diferencia entre los avances en cuanto a cautelas de índole ambiental, que todas las partes implicadas en los procesos de ocupación y transformación del territorio han aprendido a asumir, y aquellas referentes al paisaje, que por su inherente imprecisión han sido traspasadas y poco respetadas en la mayoría de los casos.

En este contexto, el desarrollo de una herramienta metodológica que basándose en el estudio de la intervisibilidad y en la valoración local de la accesibilidad y calidad (en términos de aportación) de los elementos que conforman el paisaje, sea capaz de generar unos parámetros cuantitativos de calidad y fragilidad paisajística sería de gran ayuda a la toma de decisiones políticas, puesto que daría apoyo científico a éstas. El desarrollo de las Tecnologías de la Información y más concretamente de los Sistemas de Información Geográfica, y la creciente definición cartográfica de los elementos que conforman el territorio, así como la cada vez más universal accesibilidad a toda esta información, hacen posible el desarrollo de aplicaciones que, mediante la generación virtual de un modelo de la realidad valorado convenientemente, sean capaces de gestionar y procesar la enorme cantidad de datos necesarios para que el modelo introducido simule la percepción humana del paisaje, dando como resultado una valoración sintética al menos en términos relativos.

Palabras Clave: SIG, Paisaje, Intervisibilidad.

ABSTRACT

In recent years, concern about the patrimonial aspect of the Andalusian landscape has multiplied one thousand-fold. This is partly due to what is known as the “urban development boom”, but it also concerns the layout of new infrastructures which the region’s inhabitants are now not only unwilling to live with, but also simply do not want to see. Due to overdevelopment on coasts and in other places, we have lost a large number of views that formed part of our collective heritage.

The solution to this problem is not easy, given that the usual legal instruments involve marking out a protective boundary beyond which what is not protected is fertilized land, and in the case of landscape the plotting of this boundary generally tends to be dubious. On occasions, the landscape protection status categories merely covered the obvious, and were clearly insufficient; on other occasions they were too extensive, which meant that the legal application of protection status categories was virtually impossible, or that they had an undesirable side-effect: exhausting the financial resources of municipalities, which, being ultimately responsible for managing the land, have for many years regarded land reclassification as an easy way to raise funds.

What is particularly striking is the vast difference between the advances in terms of environmental precautions, which all the parties involved in the processes of occupying and transforming the territory have learned to take, and those relating to the landscape, which due to their inherent vagueness have been bypassed and largely transgressed in the majority of cases.

In this context, the development of a methodological tool which, based on the study of intervisibility and on the local assessment of the accessibility and quality (in terms of contribution) of the constituent elements of the landscape, is capable of generating a set of quantitative quality and landscape fragility parameters would greatly facilitate political decision-making processes, given that it would provide a scientific basis for the decisions. The development of Information Technologies and, more specifically, Geographic Information Systems, and the growing cartographic definition of the elements that make up the territory, as well as the increasing universal accessibility of all this information, make it possible to develop applications that, through the virtual generation of an appropriately assessed model of reality, are capable of managing and processing the huge quantity of data necessary for enabling the introduced model to simulate human perception of the landscape, resulting in a summarised assessment at least in relative terms.

Keywords: GIS, Landscape, Intervisibility

1. OPORTUNIDAD DEL MÉTODO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN

La relativa bonanza económica que en las últimas décadas ha disfrutado Andalucía ha sido sustentada principalmente por dos grandes sectores: la construcción y el turismo. Ambos sectores han confluído en gran cantidad de operaciones urbanísticas de gran calado que se han situado preferentemente en localizaciones de alta calidad paisajística. Si bien es innegable que esto ha traído prosperidad a nuestra tierra, la sobreexplotación de estos recursos empieza a ser evidente, y la degradación de los paisajes es ya un hecho incuestionable, sobre todo en las zonas costeras. Además somos menos tolerantes ante las nuevas agresiones visuales que se nos plantean, como las grandes infraestructuras de comunicación y de generación de energía (incluso las renovables). La sociedad demanda un mayor control sobre la afección que las nuevas intervenciones ejercen sobre el paisaje de su entorno, sin necesidad de que éste sea especialmente valorable.

El propósito de este trabajo es avanzar en el conocimiento de los mecanismos de influencia en el paisaje y por último, desarrollar un borrador de guía metodológica para, a través de Sistemas de Información Geográfica, obtener unos parámetros sintéticos de calidad y fragilidad paisajística que puedan ser calificados de científicos, por estar basados en procesos de probada efectividad precisamente en el campo de la evaluación ambiental.

A menudo estos procesos no son absolutamente cuantificables, sino que se valen de valoraciones estimadas y relacionales, y en supuestos con lógica interna. Para trazar los hábitats de muchas especies se recurre en primer lugar a los registros de observación de esta especie, para después trazar un intervalo espacial (con distancias variables) donde se supone que esta especie puede desarrollar su actividad normal. Este método no garantiza en absoluto una relación biunívoca entre la existencia de ejemplares y las zonas cauteladas, pero resulta ser una aproximación válida, y lo que es más importante, ampliamente asumida, de la definición geométrica de este hábitat.

La metodología que se presenta usará en ocasiones procesos similares a estos; no son infalibles, pero por lógica interna deben ser aproximados. Llegar a delimitar con una línea supondrá igualmente una decisión más política que técnica, pero podrá estar fundada en el conocimiento y no en sensaciones.

En cuanto al ámbito de aplicación de la metodología, hay que decir que las limitaciones, más que teóricas, se basan en que los cálculos aumentan en complejidad en función directa con la precisión. El método está basado en la consecución mediante Sistemas de Información Geográfica de los valores de determinados parámetros

para una serie de puntos del territorio, para después interpolar los valores de los puntos intermedios y con esto lograr la cobertura completa del ámbito. Por tanto, en el caso de un territorio de topografía abrupta será necesario calcular muchos puntos si no queremos pasar por alto elementos de importancia. Igualmente, la complejidad de las tramas urbanas hace que la metodología no sea aplicable en localizaciones ocupadas mayoritariamente por este tipo de tramas. En Andalucía, el porcentaje medio de suelo urbano en relación al área de los términos viene a ser aproximadamente del 16.85% (Instituto de Estadística de Andalucía, 2006), y la orografía (excepto en parajes especiales como pueden ser Sierra Morena y Sierra Nevada) tiende a ser suave. Por tanto, salvo en contadas ocasiones, la aplicación del método en el territorio andaluz será, al menos en principio, factible.

2. INTRODUCCIÓN AL MÉTODO: ¿QUÉ BUSCAMOS Y CÓMO ENCONTRARLO?

Sitúese en lo alto de una colina. Gírese y disfrute, en primer lugar, del paisaje. Ahora, comience a analizarlo, empezando por lo obvio. En primer lugar, es evidente que desde lo alto de esa colina se observan cosas diferentes que desde el pie. Por tanto, la situación en la topografía influye en el paisaje que se ve. Usted observa que a no mucha distancia se encuentran árboles, puede distinguir si son pinos o abetos por estar cerca, pero además no son muchos, tan sólo una mancha de aproximadamente una hectárea. Ve manchas de árboles en la lejanía mucho mayores, pero en su percepción del paisaje la distancia de observación influye, y los elementos cercanos le causan mucha más impresión que los lejanos. Puede ver, a distancia media, una zona en la que se cultiva trigo, unas casitas dispersas, la franja de vegetación de la ribera de un riachuelo... La carretera y el camino por los que usted llegó afean un poco su perspectiva, pero es probable que si no existieran usted no estaría aquí. La central eléctrica de más adelante tiene un elevado impacto, porque se sitúa exenta en medio de cultivos y un enjambre de postes de alta tensión la rodean. La ciudad del fondo casi no influye en su percepción, prácticamente no es más que una mancha gris, pero si dejara ver el río...

Hace viento. Suponga que es usted un aerogenerador, uno de los grandes, de 60 m, por ejemplo. No es difícil ver aerogeneradores, y menos aún cerca de una central eléctrica. Por supuesto, si su percepción de persona de 1.80 m era amplia desde lo alto de la colina, si midiera 60 m lo sería aún más. Todo lo que usted observa también le observa a usted, y un aerogenerador, por su magnitud, no es algo que se pase por alto. Observa la carretera cercana: pasan algunos coches, pero por la autovía de un poco más allá pasan muchos más. Todos pueden observarlo, pero pasan rápido. Las pocas personas que viven en las casitas son las que realmente tienen que convivir con su visión. Al fin y al cabo, usted les da una energía limpia, pero si le hubieran colocado algo más allá, no en la cumbre sino un poco más atrás, prácticamente pasaría desapercibido, y cumpliría igualmente su función. Quizá fuera visible desde más lejos, desde la ciudad, pero para ellos no sería más que un pequeño borrón en el horizonte...

Muévase unos metros con su imaginación, no importa la dirección. Observará que el paisaje va cambiando, poco a poco, gradualmente. Quizá comience a atisbarse pronto un prado cercano, que cada vez va adquiriendo mayor presencia; quizá también estemos bajando poco a poco y nuestro campo de visión se vaya cerrando cada vez más; puede que desde aquella carretera desde la que se observaba nuestra faceta de aerogenerador cada vez se nos vea menos, pero que a la vez vaya apareciendo un poblado para el que, al principio de forma sutil, luego claramente, somos un objeto visible. Esto significa que para topografías no muy abruptas el paisaje observado y la exposición a observadores se pueden entender como algo continuo en el que los valores van variando conforme a la posición de forma progresiva.

Estas son las situaciones que se pretenden analizar con la presente metodología. Mediante los Sistemas de Información Geográfica, intentaremos recrear estas situaciones y, si no valorarlas cuantitativamente, sí dar un orden de magnitud a estas variables: Valor del Paisaje Observado – análisis sobre lo que se ve desde cada punto y Valor de Fragilidad Paisajística – o exposición visual de cada punto del territorio.

Representaremos el gradiente de estas variables en relación a los puntos de un mapa como unas coberturas sobre este mapa, de manera gráfica; así podremos saber qué valor asume cada una de estas variables para cada punto de un solo vistazo. Posteriormente, habrá un comentario sobre cómo realizar operaciones con estos mapas para sacarles el máximo provecho.

3. PREPARACIÓN DE LOS DATOS INICIALES

Como en todo trabajo de análisis, la preparación de los datos iniciales es una de las labores en las que hay que ser más cuidadoso si no queremos a posteriori obtener resultados incoherentes. Por tanto, conviene ser cautos en la preparación de los datos de partida, manteniendo el detalle adecuado en las capas geográficas. Los datos que hay que preparar son los siguientes:

3.1. Malla de puntos para el cálculo de la intervisibilidad: Cobertura de puntos

Se trata de una malla regular de puntos equidistantes unos de otros (a distancias de $n \times n$) que cubre la totalidad de la zona de estudio.

Es importante remarcar que es para estos puntos para los que obtendremos los datos cuantitativos de los parámetros paisajísticos que son nuestro objetivo. La cobertura del territorio se realizará interpolando los valores obtenidos para cada uno de estos puntos, por tanto la apertura de la malla (n) será un valor crucial a tener en cuenta: Cuanto mayor sea, menor será el detalle de nuestros mapas finales y menor su fiabilidad, pero también tendremos que calcular los valores para un número menor de puntos; al contrario, si la apertura es pequeña, obtendremos mapas con una precisión mayor, pero el número de puntos sobre los que aplicar el cálculo se incrementará por una potencia de 2.

Cuando se dice que cubre la totalidad de la zona de estudio se entiende que habrá que seleccionar de una malla de puntos mayor que la zona de estudio aquellos que queden dentro de un polígono trazado (hacia fuera) a una distancia n del polígono que marca la zona de estudio. En las figuras siguientes podemos ver cómo se realiza esa selección:

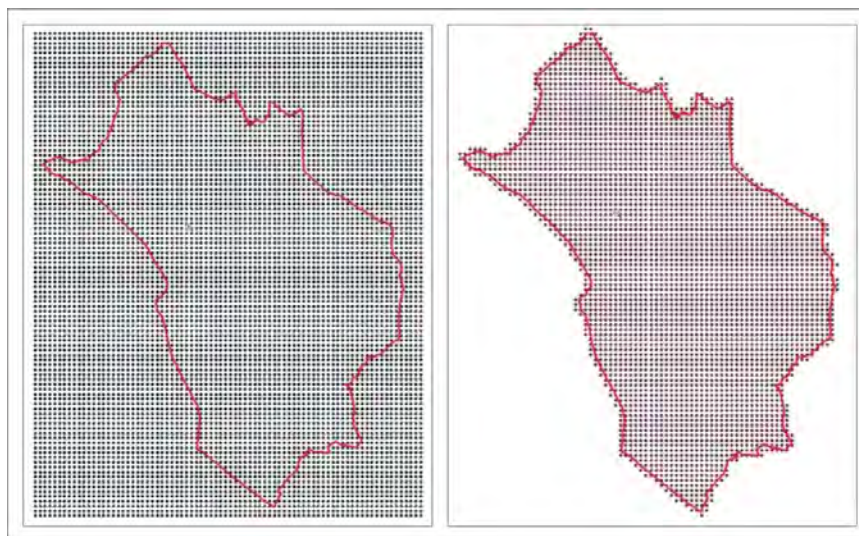


Figura 1. Selección de los puntos dentro y sobre el área de estudio (en rojo).

Como vemos en la imagen (figura 1, derecha), existen puntos fuera del ámbito que queremos estudiar; esto se hace para tener datos exteriores al ámbito de estudio y poder interpolar los valores de localizaciones muy cercanas a la línea límite; en otras palabras, para asegurar la correcta cobertura de todo el territorio a estudiar.

3.2. El modelo digital del terreno: Cobertura Ráster

Un modelo digital del terreno (MDT) es, a grandes rasgos, una representación de la topografía de un territorio dado. En la introducción al método hemos visto cómo la situación altimétrica de un observador (o una entidad observada) influye poderosamente en su visibilidad; además, accidentes geográficos como montañas nos pueden ocultar parte del paisaje, haciéndolo invisible desde algunas situaciones.

Hay dos aspectos a tener en cuenta de esta cobertura:

1.- La precisión o tamaño del píxel, que influirá en el tiempo que llevará realizar los cálculos, así como en la precisión de los resultados, aumentando en proporción directa.

2.- La extensión del mdt, que deberá cubrir al menos el territorio área de estudio mas un corredor de un tamaño igual al la magnitud que hayamos tomado como límite de visibilidad (D_n , definida más adelante). Evidentemente, el paisaje observado desde la mayoría de puntos de nuestra área de estudio estará influido por entidades localizadas fuera de este ámbito (aunque estemos estudiando el paisaje de un término municipal, unas montañas situadas en el término adyacente formarán parte del paisaje de nuestro término).

3.3. La altura de visibilidad: Número Real Positivo

Se define como la altura a la que está colocado el observador para realizar el cálculo de su área visible, pero también puede entenderse como la altura del objeto observado cuando queremos calcular el área desde la que éste es visto. Una altura de observación normal de una persona situada de pie sobre el territorio puede ser de 1.6 m; si lo que buscamos con nuestro estudio es evaluar el impacto de un determinado elemento (un aerogenerador) sobre el paisaje, debemos aplicarle a este parámetro el valor de su altura.

3.4. Valores límite para los anillos de distancia de observación: Números Reales Positivos

Ya se ha comentado en la introducción al método la importancia de la distancia de observación en el cálculo de los valores para los parámetros finales de evaluación del paisaje que buscamos como objetivo. Para que este factor pueda ser implementado, es importante establecer unos grados o escalones homogéneos para los que cualquier entidad situada en uno de ellos adquiera un valor único por estar en esta situación. Por supuesto, el método que se presenta no es más que una aproximación, puesto que de hecho no se calcula el valor exacto de distancia para cada punto del territorio (sino que se valora en función de que el punto se encuentre a una distancia mayor que x y menor que y , y todos los puntos que cumplen esta condición son valorados de la misma manera).

Unos valores recomendables para estos anillos serían los siguientes: 0-200 m, 200-500 m, 500-1000 m, 1000-2000 m, 2000-5000 m y 5000-10000 m, siendo entonces el valor de 10000 m nuestro límite de visibilidad (D_n). Como en el caso de los puntos de observación, introducir más categorías implica una mayor precisión pero más tardanza en los cálculos; por tanto, conviene valorar este punto para cada caso.

3.5. El mapa de Accesibilidad Local: Cobertura de polígonos

Contendrá los datos suficientes para poder valorar (estimativamente) la cantidad de observadores potenciales que existe en cada punto de la cobertura. Ésta deberá cumplir igualmente la condición de extensión antes reseñada para el MDT (territorio área de estudio + D_n). Contendrá los campos alfanuméricos necesarios para establecer (posteriormente, mediante tablas de valoración) la cantidad de observadores potenciales, esto es, designará uno o varios atributos para cada parcela del territorio a los que después asignaremos un valor sintético de accesibilidad.

Se propone la asignación de dos campos ([usogeneral] y [particular]) que describen el uso de la parcela en función de su accesibilidad.

Tabla 1. Propuesta de valores para definición de la cobertura de accesibilidad local.

USO GENERAL		PARTICULAR	
Redes	Aquellas entidades por las que asiduamente pasan personas para desplazarse (suelen ser suelo público)	Ferrocarril	Una infraestructura viaria de alto valor en cuanto a accesibilidad, dado que los usuarios de este medio de transporte suelen estar predispuestos a la observación del paisaje.
		Carreteras	Diferenciadas por su capacidad: Autovías, ctras. Estatales, intercomarcales, comarcales, locales, nudos, travesías y otras.
		Senderos	Entendiéndose como aquellos caminos ya preparados para su uso público de ocio
		Caminos	Generalmente sólo servirán como acceso a las parcelas.
Rústico	Las parcelas privadas con uso rústico, que generalmente están poco habitadas, o cuya densidad de observadores por hectárea es muy baja.	Rústico puro	Parcelas privadas de uso rústico
		Parques periurbanos y otros equipamientos extensivos	Etiquetados de distinta forma según el caso de estudio
Urbano	Se definen en esta categoría las aglomeraciones urbanas habitadas, en las que la densidad de observadores es muy elevada.	Residencial consolidado	Los núcleos poblacionales principales y determinados equipamientos intensivos exteriores.
		Urbanizaciones residenciales	Normalmente, parcelaciones externas a los núcleos con finalidad principal residencial, sean primera o segunda vivienda. Tienen una menor densidad de habitantes que los núcleos urbanos.
		Urbanizaciones agrícolas	Parcelaciones cuyo primer uso es agrícola intensivo, pero que generalmente contienen viviendas. Debido a su uso mayoritariamente agrícola, su densidad poblacional es menor.
		Industria e infraestructuras	Zonas industriales, que pueden tener una elevada densidad poblacional a determinadas horas pero que por sus características no requieren (o comparativamente, lo requieren en menor medida) un entorno paisajístico cuidado.

3.6. El mapa de Valor Paisajístico Local: Cobertura de polígonos

Será una cobertura de la misma extensión que la anterior, pero cuya clasificación por usos del suelo se enfocará desde el punto de vista de la aportación de cada elemento al paisaje. La perspectiva de valoración que se propone en este documento es desde una visión eminentemente naturalista, de conservación de los paisajes en el grado más natural posible. Por otro lado, se deberían primar componentes culturales de importancia en la idiosincrasia de la zona de estudio (monumentos, construcciones características, cultivos de valor cultural).

Al igual que en el caso anterior, se propone la asignación de dos campos ([usogeneral] y [particular]) que describen el uso de la parcela en función de la calidad que aportan al paisaje. Es de destacar que esta cobertura ha de ser matizada para incluir los valores propios de la zona donde será aplicada. Por tanto, la determinación de las categorías que se ofrece a continuación no es universal, pero puede ser orientativa.

Tabla 2. Propuesta de valores para definición de la cobertura de calidad paisajística local.

USO GENERAL		PARTICULAR	
Natural	Zonas de vegetación natural con baja o nula influencia humana.	Suelo desnudo	Aquellas zonas sin vegetación o roquedos
		Pastizal	Vegetación herbácea (pastos) de baja talla
		Matorral y pastizal	Mezcla de ambas clases
		Arbóreo disperso	Especies arbóreas en baja densidad
		Matorral y arbóreo	Mezcla de ambas clases
		Quercíneas disperso	Los Quercus se han disgregado de las demás especies por poseer un valor cultural elevado en prácticamente toda la península, al englobar las encinas, robles, alcornoques...
		Arbóreo denso	Especies arbóreas en alta densidad
		Riparias	Especies que acompañan generalmente a cursos de agua, generalmente de elevado valor paisajístico.
		Forestal	Zonas con alta densidad de vegetación, generalmente protegidas.
		Quercíneas denso	
		Láminas de agua	Aportan un gran valor al paisaje.
Forestal quercíneas	Dehesas, de elevado valor ambiental y cultural.		
Antrópico – cultivos herbáceos	Los polígonos de cultivo herbáceo (de baja talla)	Cultivos bajo plástico	De bajo valor paisajístico.
		Herbáceos de secano	Polígonos (generalmente de gran área) cultivados con trigo u otras especies herbáceas de secano.
		Herbáceos de regadío	Alfalfa, etc.
Antrópico – cultivos arbóreos	Polígonos de cultivo arbóreo, que por su porte son mayoritariamente observados en las clasificaciones paisajísticas al uso.	Pequeño porte	Árboles recién plantados o talados, o bien especies de baja talla.
		Arbóreos de secano	
		Arbóreos de regadío	Generalmente, más denso que los de secano.
		Viñedo	Destacado por su valor cultural en el sur de España.
		Olivar	Igualmente de alto valor cultural en la zona, pero de mayor porte y valor ambiental.
Antrópico – varios.	Incluye todas las zonas con actividad humana que no son directamente agrícolas (zonas urbanas, carreteras, etc)	Vertederos y escombreras	Zonas destacadas por su baja aportación a la calidad del paisaje
		Industrial e infraestructuras	Zonas de baja aportación a la calidad del paisaje, como polígonos industriales, naves, subestaciones eléctricas...
		Camino y carreteras	Cuentan con poca altura, por lo que el impacto visual no es muy elevado (excepto en viaductos)
		Balsas	De uso ganadero o como reserva de riego, no son calificadas como láminas de agua por ser artificiales y de pequeña superficie.
		Urbano	Poblaciones y demás áreas urbanas no incorporadas en el resto de las categorías.
		Zonas verdes y deportivas	Zonas verdes urbanas e instalaciones deportivas como campos de golf.
		Pueblos pintorescos	Aquellos núcleos poblacionales que por su interés paisajístico destaquen
		Edificaciones pintorescas	Cortijos, ermitas, y todas aquellas edificaciones con valor cultural que caractericen al paisaje que estamos estudiando.

Tan sólo remarcar que si bien la cobertura de accesibilidad sí puede ser desarrollada de una forma más metódica y unívoca, basándose en métodos estadísticos como el conteo de vehículos por un viario dado (IMD), para realizar ésta tendremos que recurrir a varias cartografías sectoriales (de tipo natural, cultural...) y refundirlas en una sola cobertura que contenga los valores que consideremos apropiados para nuestra aplicación. El método para realizar esto con garantías puede ser altamente complejo; aquí tan sólo se desarrollan las trazas principales del mismo, con un resultado más genérico y menos detallado.

3.7. Las tablas de valoración. Tablas de datos

Serán tablas que relacionarán los distintos parámetros que tendremos que usar (distancia al objetivo, accesibilidad por uso general, accesibilidad por uso particular, valor paisajístico local por uso general y valor paisajístico local por uso particular) con un valor sintético que deberemos asignar de forma lógica. Hay que notar que es muy difícil asignar un valor concreto a un cultivo en particular (por ejemplo olivo), pero podemos darle un valor comparativo respecto a otro tipo de cultivo (por ejemplo, la hectárea de plantación de olivo vale –desde el punto de vista de su aportación al paisaje- 3 veces el valor de la hectárea de plantación de viñedo, dado que el olivo es una especie arbórea y el viñedo es arbustiva, y que la tradición olivarera en Andalucía es, al menos, comparable a la vitivinícola). Por tanto, nos basamos en un “orden de cosas” lógico, pero hay que tener muy presente que el método de valoración no es ni de lejos exhaustivo, si bien con el ensayo de diferentes valoraciones y con las comprobaciones de campo pertinentes podremos llegar a asumir unos valores estándar.

Necesitaremos entonces una tabla para cada uno de los siguientes parámetros: Distancia al objetivo, Accesibilidad por uso general, Accesibilidad por uso particular, Valor paisajístico local por uso general, Valor paisajístico local por uso particular. Cada una de estas tablas deberá contener una fila por cada valor único que se le haya dado al parámetro en las capas geográficas relacionadas y, en otra columna, la valoración sintética que queramos darle a este elemento.

4. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

4.1. Preparación de la capa de puntos

En III.1 se ha definido la capa de puntos sobre la que calcularemos los valores de los parámetros que nos interesan, para después interpolar y obtener así los valores para cada punto del territorio. Antes de comenzar a procesarlos, o más bien como paso previo a su proceso, conviene que ejecutemos dos operaciones necesarias. La primera de ellas es asignar un nombre (de forma automática) a cada uno de los puntos, tal como “P00001, P00002...”. La segunda es adscribir a cada punto el número real con la altura de visibilidad, lo que se consigue calculando un campo con el valor real decidido para este parámetro.

A partir de este momento y hasta IV.9, las operaciones indicadas se harán cada uno de los puntos, extrayéndolos del conjunto y operando de forma individual sobre ellos.

4.2. Cálculo del área visible desde el punto

La mayoría de paquetes SIG contiene alguna aplicación para el cálculo de la visibilidad desde un punto. Tomaremos como datos necesarios para la partida el MDT, el parámetro de altura de observación deseada, y el punto seleccionado, y el programa nos calculará el área del territorio visible desde ese punto (Figura 2-Izq).

4.3. Cálculo de los anillos de distancia

Generaremos unos anillos de distancia en forma de buffer sobre el punto a las distancias deseadas, cuidando que el área interior de cada anillo quede perfectamente llena por los anillos menores, y que cada anillo quede identificado.

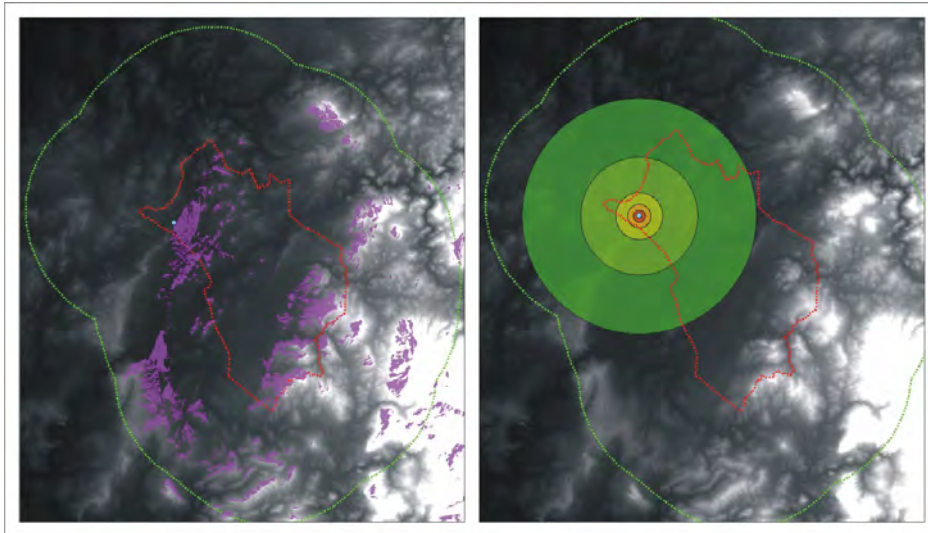


Figura 2. Área visible y anillos de distancia sobre el punto seleccionado.

4.4. Intersección Visibilidad-Anillos (VXB)

Al cruzar ambas capas, marcaremos las zonas visibles desde el punto que se encuentran dentro de los distintos anillos de distancia. Esto también supone que la tabla de atributos de las entidades resultantes contendrá información sobre a qué distancia se encuentran del punto seleccionado. (Figura 3-Izq).

4.5. Intersección VXB – Accesibilidad (VxBxA)

Añadiremos con esto información sobre la accesibilidad de cada zona visible desde el punto seleccionado.

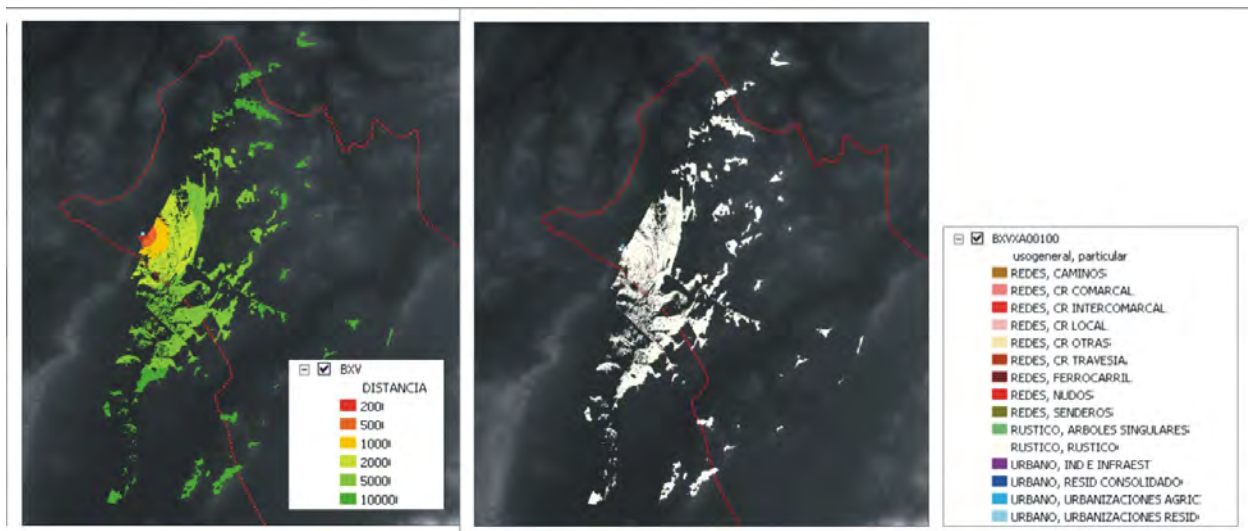


Figura 3. Resultado de la intersección VxB, y de ésta con la cobertura de accesibilidad local (VxBxA)

Observamos en la imagen como la mayor parte del suelo visible desde este punto está calificada desde el punto de vista de la accesibilidad como “usogeneral=rústico, particular=rústico”

4.6. Intersección VXBXA – Valor del Paisaje Local (VXBXAXC)

Con este paso añadiremos información sobre el paisaje local de cada zona visible desde el punto seleccionado.

Tras este paso, para cada punto del territorio conoceremos la siguiente información:

- Si es visible o no desde el punto seleccionado.
- A que distancia (dentro de los límites impuestos por los anillos de distancia) nos encontramos del mismo.
- Cuántos observadores potenciales pasan por allí (según su uso general y pormenorizado - accesibilidad)
- Qué aportación al paisaje ejercen los elementos (vegetales, culturales...) que allí se encuentran.

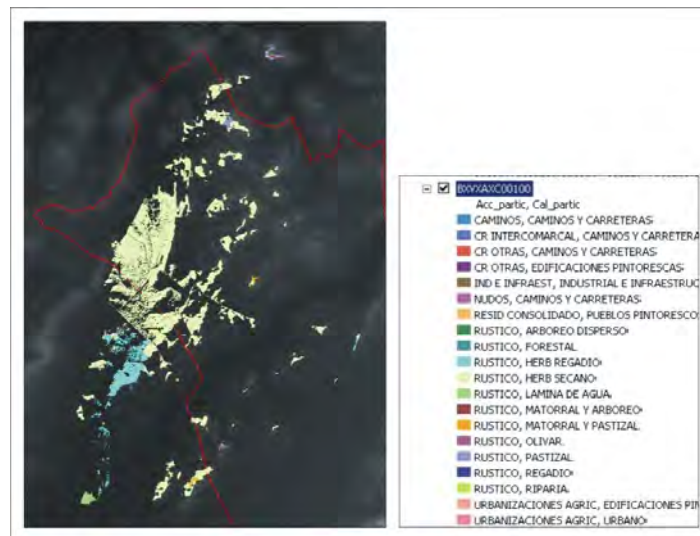


Figura 4. Resultado de la intersección con la cobertura de valor paisajístico local.

Vemos cómo en el ejemplo la mayor parte del suelo está ocupado con los usos “herbáceos de secano”, pero también podemos encontrar “herbáceos de regadío” en gran cantidad.

4.7. Cálculo de las superficies de zonas homogéneas

Podemos generalizar (disolver) este mapa para que para cada valor único de cada campo exista una sola entidad, esto es, para el valor de distancia de 200 a 500 m con accesibilidad [usogen] de valor “rústico”, con accesibilidad [partic] de valor “rústico”, con valor del paisaje local [usogen] “cultivos” y con valor del paisaje local [partic] “viñedo” existirá una sola entidad, o lo que es lo mismo, todos los cultivos de viñedo situados sobre suelo rústico (en cuanto a accesibilidad) que se encuentren a una distancia entre los 200 y los 500 m se unirán en una sola entidad.

A las entidades resultantes de esta operación les calculamos el área, de forma que podemos montar sentencias del tipo:

“A más de 200 y menos de 500 metros del punto seleccionado existen 5,85 hectáreas de cultivos de viñedo sobre suelo con el valor de accesibilidad rústico”. Con esto, sabremos tanto lo que se ve desde el punto seleccionado (y a qué distancia) como la cantidad de observadores que potencialmente verán el punto seleccionado.

ident	DISTANCIA	Acc_usogen	Acc_partic	Cal_usogen	Cal_partic	AREA
P00100	200	RUSTICO	RUSTICO	ANTROPICO - CULTIVOS HERBACEOS	HERB SECANO	42431.94104
P00100	500	RUSTICO	RUSTICO	ANTROPICO - CULTIVOS HERBACEOS	HERB SECANO	225256.30645
P00100	1000	RUSTICO	RUSTICO	ANTROPICO - CULTIVOS HERBACEOS	HERB SECANO	786173.85322
P00100	2000	RUSTICO	RUSTICO	ANTROPICO - CULTIVOS HERBACEOS	HERB SECANO	2987309.2439
P00100	5000	RUSTICO	RUSTICO	ANTROPICO - CULTIVOS HERBACEOS	HERB REGADIO	836147.18328
P00100	5000	RUSTICO	RUSTICO	ANTROPICO - CULTIVOS HERBACEOS	HERB SECANO	6407406.4103
P00100	5000	RUSTICO	RUSTICO	NATURAL	RIPARIA	18347.61893
P00100	10000	RUSTICO	RUSTICO	ANTROPICO - CULTIVOS ARBOREOS	OLIVAR	31353.74661
P00100	10000	RUSTICO	RUSTICO	ANTROPICO - CULTIVOS ARBOREOS	REGADIO	586.13193
P00100	10000	RUSTICO	RUSTICO	ANTROPICO - CULTIVOS HERBACEOS	HERB REGADIO	727802.18667
P00100	10000	RUSTICO	RUSTICO	ANTROPICO - CULTIVOS HERBACEOS	HERB SECANO	2691889.9951
P00100	10000	RUSTICO	RUSTICO	NATURAL	ARBOREO DISPERSO	2.99678
P00100	10000	RUSTICO	RUSTICO	NATURAL	ESPESAL	4.2500.00000

Figura 5. Imagen parcial de la tabla de atributos de las entidades resultantes.

Es importante en este punto destacar que en la tabla de contenidos del producto de la intersección anterior obtenemos la información que hemos estado recabando hasta este momento del modo más disgregado posible, de manera que leyendo esta tabla podemos conocer de forma tan detallada como nuestras capas de origen nos permitan qué es lo que se ve desde cada punto, y quienes están viendo cada punto: en el caso del ejemplo, desde el punto 00100 nos ven desde 42431,94 m² de [Acc_usogen]=Rústico [Acc_usopar]=Rústico que se corresponden con [Cal_usogen]=Antrópico – cultivos herbáceos y [Cal_partic]=Herb secano, situados a 200 m del objetivo (esta es la información que nos da la primera fila de la tabla de contenidos que vemos más arriba, correspondiente a P00100; la tabla continúa hasta tener 34 registros, todos referidos a este punto). Por tanto, si queremos posteriormente recuperar esta información para estudiar zonas o puntos concretos del territorio, utilizaremos esta cobertura.

4.8. Aplicación de la valoración sintética

Tras el cálculo anterior, no es difícil estimar un valor cuantitativo relativo para cada uno de los valores únicos de los elementos resultantes: Podemos, por ejemplo, dar un valor de 10 a las entidades que estén a menos de 200 m del punto de observación, un valor 5 a las que estén entre 200 y 500 m... Igualmente, podemos asignar valores cuantitativos relativos a los valores textuales de accesibilidad local (si asignamos el valor 1000 a las autovías, podemos estimar que una carretera intercomarcal puede tener un valor de 200, o quizá 100), y de la misma manera podemos proceder con el valor del paisaje local. Las valoraciones generalmente serán de orden de magnitud, no estrictamente cuantitativas, pero en conjunto nos darán una idea general más o menos exacta del parámetro al que le estemos aplicando el valor. Por último, para obtener los parámetros deseados de Valor del Paisaje observado y Fragilidad Visual para el punto seleccionado, realizaremos las siguientes operaciones:

Para hallar el Valor del Paisaje Observado:

Cada uno de los polígonos con valores distintos desde el valor del paisaje local que forman el área visible desde el punto seleccionado debe adquirir un valor en función de su área, de la distancia a la que se encuentra, y de los valores asociados a valor del paisaje local [cal_usogen] y valor del paisaje local [cal_partic]. Se propone una multiplicación simple de los factores.

$$VPO = \sum_{\text{para todos los polígonos que forman el área visible desde el punto}} (\text{Área} \times \text{Val_Distancia} \times \text{Val_Loc_Usogen} \times \text{Val_Loc_Partic})$$

Esto es, multiplicamos el área del polígono visible por el valor asociado a su distancia (menos cuanto más lejos) y por los valores asociados a su valor paisajístico local (que se obtendrá de la tabla de valoración explicada en III.7), y posteriormente sumando todos los valores aportados por cada polígono del área visible, obtenemos un valor sintético cuyo significado es “valor de lo que se ve desde el punto seleccionado” y que puede asociarse al punto en sí.

Para hallar el Valor de Fragilidad Paisajística:

Procederemos de forma similar, sólo que sustituyendo los valores de paisaje local por valores de accesibilidad local. Se propone asimismo una multiplicación simple de los factores incidentes.

$$VFP = \sum_{\text{para todos los polígonos que forman el área desde la que el punto es visto}} (\text{Área} \times \text{Val_Distancia} \times \text{Val_Acc_Usogen} \times \text{Val_Acc_Partic})$$

Multiplicamos con esto el área del polígono desde el que es visible el punto por su valor asociado a la distancia (a más distancia, menos valor), y por los valores asociados a su accesibilidad local (que se obtendrá de la tabla de valoración de la que hablamos en III.7), y posteriormente sumamos todos los valores aportados por cada polígono desde el que el punto seleccionado es visible, obteniendo un valor sintético cuyo significado es “exposición visual del –o cantidad potencial de observadores que ven al- punto seleccionado” y que puede asociarse al punto en sí.

Queremos hacer hincapié en que esta es una de las fórmulas más sencillas que pueden aplicarse, pero que la metodología admite cualquier otra operación matemática-lógica realizada sobre campos numéricos, para la consecución de los valores VPO y VFP.

4.9. Iteración

Una vez obtenidos estos indicadores sintéticos para un punto, tan sólo tenemos que iterar el procedimiento sobre el resto de los puntos a los que queramos calcularles los valores para obtener una tabla con los valores VPO y VFP relacionados mediante el indicador de nombre (P00001, P00002...). Esta tabla sintetiza toda la información que hemos generado en el procedimiento (la información sobre qué es lo que se ve desde cada punto, y quienes ven a cada punto) en unos valores numéricos escalares.

A partir de este momento las operaciones restantes serán realizadas sólo una vez, entendiéndose que ya se ha realizado la iteración sobre todos los puntos para los que queríamos encontrar valores.

4.10. Asignación a los puntos de los valores y generación de los mapas de VPO y VFP

Dado que tenemos el conjunto de puntos con un identificador único para cada uno de ellos y, por otro lado, la tabla que contiene todos estos identificadores y sus valores de VPO y VFP, no es difícil intuir que ambas pueden unirse para que los puntos adquieran estos atributos.

El único paso que nos queda para la realización de los mapas temáticos será la interpolación: obtendremos valores para todos los puntos del ámbito interpolando los valores obtenidos para los puntos que hemos calculado. Para la realización de los mapas de las figuras se ha optado por un método estadístico sencillo llamada “natural neighbour”, si bien la aplicación de métodos geoestadísticos (tipo “Kriging”) puede ser más acertada. En cualquier caso la operación de interpolación afectará al resultado final de de forma suave, siempre que el número de puntos calculados y la escala de representación sean adecuados.

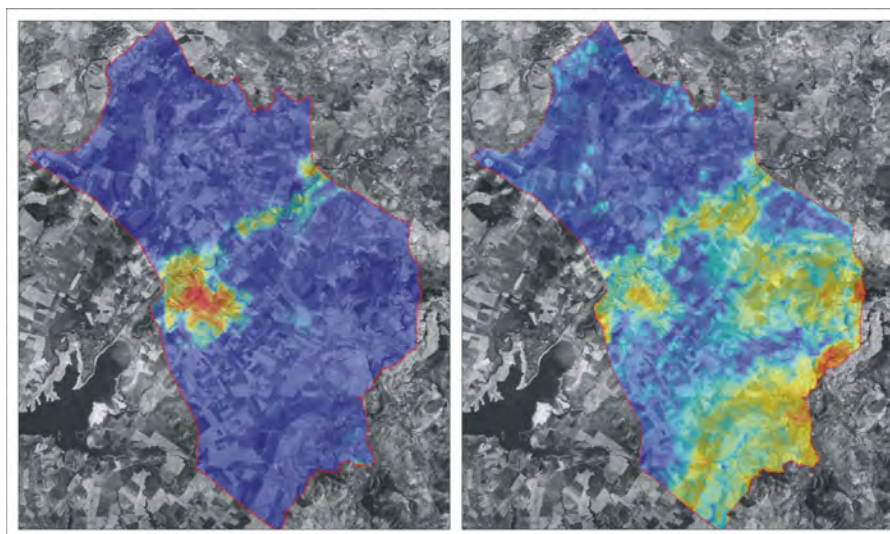


Figura 6. Imágenes de los mapas de VFP –izquierda- y VPO –derecha-.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Resultados de Valor de Fragilidad Paisajística

Como podemos observar en la figura 6-izquierda, al haberse identificado la fragilidad paisajística con la exposición de una localización determinada, el primer nivel de resultados es obvio: no deberemos realizar actuaciones que tengan elevado impacto paisajístico en las cercanías de núcleos urbanos y redes de transporte principales (situaciones con elevado valor de accesibilidad local). Esto es una evidencia, si bien nos asegura la validez del método – cualquier método cuyos resultados no fueran en una primera lectura estos, quedaría automáticamente invalidado.

En una segunda lectura, podemos excluir de la clasificación del mapa los valores más altos. Esto nos delimitará unidades con cierta fragilidad, pero menos obvias de detectar (ver figura 7-izquierda).

Por último, si lo que queremos es conocer la situación óptima para actuaciones de potencial impacto paisajístico, tan sólo tendremos que restringir aún más la valoración, quedándonos sólo con los valores más bajos en cuanto a Fragilidad Paisajística se refiere (ver figura 7-derecha). Por otra parte, si lo que buscamos es una situación de elevada visibilidad (para colocación de hitos, monumentos, o sencillamente anuncios comerciales), efectuaremos el proceso opuesto, quedándonos tan sólo con los valores más elevados de VFP; actuar de esta manera puede ayudar a la toma de decisiones en función de la visibilidad.

Lógicamente, en todo el discurso no se ha hecho alusión a valores ambientales propios del territorio. La cobertura que se presenta deberá ser contrastada con las propias coberturas que restringirán lo necesario desde el punto de vista ambiental; asimismo también deberá ser cruzada con las coberturas de localización óptima de la actuación desde el punto de vista económico, de accesibilidad, etc...

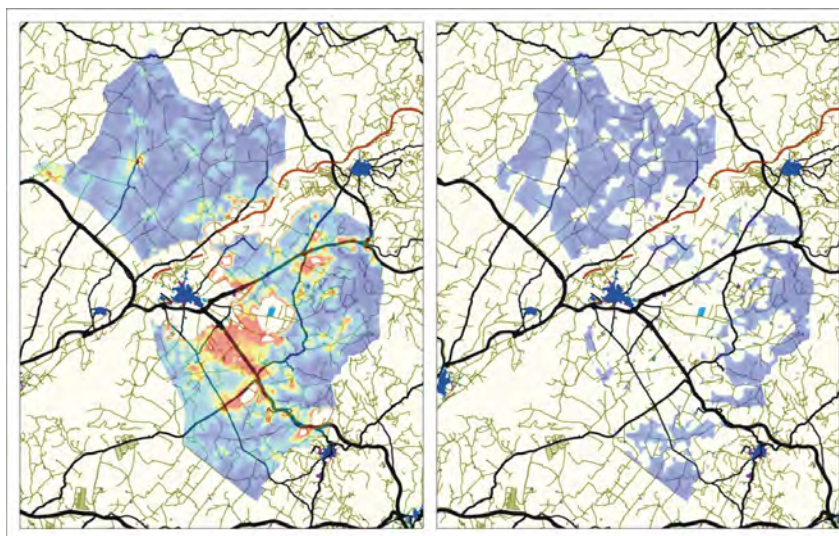


Figura 7. Imágenes del mapa de VFP. A la izquierda, discriminación de los valores más elevados, apreciándose los valores medios; a la derecha, representación de los valores más bajos, determinando situaciones idóneas para actuaciones de alto impacto paisajístico.

5.2. Resultados de Valor de Paisaje Observado

A la hora de interpretar e mapa de Valor de Paisaje Observado, lo que veremos es, en colores cálidos, aquellas localizaciones desde las que el paisaje que se disfruta es de elevada calidad. Al contrario del mapa anterior, cuya utilidad estriba en conocer aquellas zonas que más o menos gente observa, los valores más altos de este mapa nos dirán los lugares donde preferentemente podremos desarrollar actividades relacionadas con el disfrute del paisaje (ya sean parques, miradores u hoteles); los más bajos nos indicarán las zonas paisajísticamente degradadas, en las que la colocación de usos como el residencial no resulta conveniente.

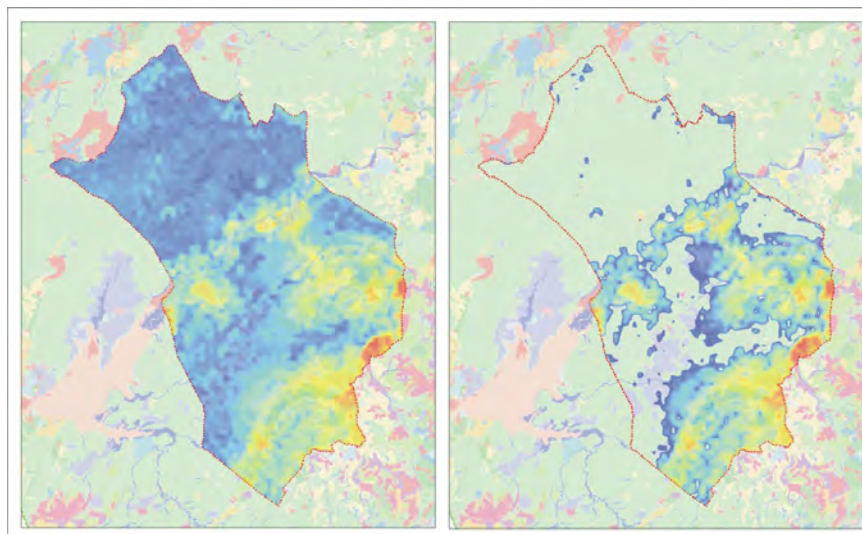


Figura 8. Imágenes del mapa de VPO. A la izquierda, completo; a la derecha, discriminación de los valores más bajos, determinándose situaciones idóneas para la localización de actividades relacionadas con el disfrute del paisaje.

De la misma forma que en el caso anterior, podemos proceder a discriminar los valores según nuestra conveniencia: si lo que buscamos es una localización paisajísticamente agradable para cualquier actividad (confección de rutas de senderismo, por ejemplo), nos quedaremos con aquellos valores más elevados; si por el contrario queremos conocer las zonas del territorio con menor calidad paisajística (para actuar en su recuperación, por ejemplo), nos quedaremos con las zonas de menor valor, discriminando las de valor más elevado.

Podemos observar cómo la zona sur y centro del ámbito es la que de mayor calidad del paisaje observado disfruta, especialmente la sur, dotada en el mapa de calidad paisajística local de una vegetación más natural; por otra parte, nótese que los valores altos en el mapa no tienen porqué corresponderse con una alta calidad local, si bien guardan relación zonal. Esto es debido a que, aunque el carácter de la magnitud que se mide sea remoto, la cercanía influye poderosamente.

Al igual que en el caso anterior, este no es más que un análisis sectorial que deberá ser completado con el resto de análisis (ambientales, económicos, basados en la accesibilidad...) antes de acometer cualquier actuación.

6. CONCLUSIONES SOBRE EL MÉTODO

Una vez obtenidos las coberturas que antes hemos analizado, es una decisión básicamente política el estipular zonas de cautela paisajística (y zonas de oportunidad paisajística) y darles cuerpo jurídico en forma de ley o normativa (tanto de ámbito municipal como de orden superior), de forma que en las zonas cauteladas se establezcan normas de ocupación, uso, etc...

¿Qué más podemos hacer con los valores resultantes? Una de las aplicaciones más útiles puede ser el testeo de actuaciones urbanísticas o de obra civil. La aplicación de un Plan General en un municipio puede conllevar cambios drásticos en el uso del suelo y en la accesibilidad del territorio, de forma simultánea. La aplicación de la metodología dos veces (una con las capas de valor del paisaje local y accesibilidad local previas a la intervención y otra con estas capas ya modificadas por las actuaciones previstas) y la comparación de los resultados puede ser clarificadora del impacto que supone la intervención. En otro orden de cosas, la aplicación de una herramienta de routing sobre el mapa de Valor del Paisaje Observado podría dar pistas sobre itinerarios de alto valor paisajístico, localización de miradores, etc.

Estas capas también pueden formar parte de un análisis multivariable, al estar descritas de forma cuantitativa. Pueden ser cruzadas con capas como la de catastro y asignarse a cada parcela los valores de aportación al paisaje y de fragilidad, con lo que podrían tomar parte en cualquier proceso de toma de decisiones, con el peso específico que se desee.

¿Cuáles son los aspectos a mejorar de la metodología? Sin duda, muchos, pero los más evidentes podrían ser:

- Aplicación de la metodología a zonas de bosque denso, teniendo en cuenta la altura y densidad del arbolado.

- Desarrollo de herramientas de valoración que relacionen los objetos visibles entre ellos, de tal forma que su valoración dependa del contexto visual en el que se encuentren.

- Obtención de valores de referencia para las magnitudes de VPO y VFP, teniendo en cuenta que éstas serán dependientes del entorno (tanto cultural como natural) y por tanto variables geográficamente.

- Concreción de sistemas de valoración de la accesibilidad y del paisaje locales que sean asumidos como referentes o estándares, así como de métodos de análisis de superposición en los que las capas resultantes de la metodología presentada sean partícipes no únicos.

Esto es sólo parte del largo camino que queda por andar, con obstáculos que quizá sean infranqueables. Este trabajo no es más que el borrador de una metodología que puede ser enriquecida por aportaciones de todo tipo, hasta quizá convertirse en una herramienta más para la planificación del desarrollo; una herramienta que, como las demás, surge a demanda de una sociedad que cada vez presta mayor atención al entorno en que se mueve, a su salubridad y a la conservación de su diversidad, y que además está dispuesta a exigir el disfrute – también el visual – del Patrimonio que le pertenece.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berry, J.K. (varios años): Cálculo y uso de mapas de visibilidad en aplicaciones GIS. *Artículos de la serie Beyond Mapping: Más Allá de la Cartografía*.
- Bolós, M. (1992): *Manual de Ciencia del Paisaje*. Barcelona, Masson.
- Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., Rodríguez Duran, A.E., Rodríguez Espinosa, V.M. y Vela Gayo, A. (1997): Valoración de los aspectos visuales del paisaje mediante la utilización de un sistema de información geográfica. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*.
- Cheng, C. y Jan, J. (2000): Application of GIS to Measure and evaluate Landscape Changes. *GIS Development*. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ts7/gdi002.shtml>
- Martínez Vega, J., Martín Isabel M.P. y Romero Calcerrada, R. (2003): Valoración del paisaje en la zona de especial protección de aves carrizales y sotos de Aranjuez (Comunidad de Madrid), *GeoFocus (Artículos)*, 3: 1-21.
- MMA (2000): *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. Secretaria General Técnica del Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Zoido, F. et al (2002): *Paisaje y ordenación del Territorio*. Fundación Duques de Soria y Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía.

Quijano Hurtado, Ricardo y Domínguez Bravo, Javier (2008): Diseño de un proyecto integrado para la planificación energética y el desarrollo regional de las energías renovables en Colombia basado en sistemas de información geográfica. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 729-736. ISBN: 978-84-96971-53-0

DISEÑO DE UN PROYECTO INTEGRADO PARA LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA Y EL DESARROLLO REGIONAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA BASADO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Quijano Hurtado, Ricardo¹ y Domínguez Bravo, Javier²

(1) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Escuela Procesos y Energía. Carrera 80 #65-223, Medellín (Colombia). rquijano@unalmed.edu.co

(2) Ministerio de Educación y Ciencia. CIEMAT. Departamento de Energía. División de Energías Renovables. Av. Complutense, 22. 28040, Madrid (España). javier.dominguez@ciemat.es

RESUMEN

Las dos fuentes fundamentales de energía primaria en Colombia están en crisis. Los combustibles fósiles que han abastecido durante años la demanda doméstica, dejarán de hacerlo en los próximos años. El potencial hidroeléctrico, responsable de la mayor parte de la generación eléctrica, presenta dificultades crecientes: impactos ambientales y sociales de los grandes proyectos hidroeléctricos y, sobre todo, la enorme variabilidad climática (aumento de temperaturas en la Cordillera Andina y de la intensidad y frecuencia del ENSO- El Niño Oscilación Sur-). Finalmente, el enorme potencial de recursos de energías renovables no se ha incorporado significativamente en el mix energético nacional.

La UNAL y el CIEMAT están desarrollando una nueva herramienta de planificación energética integrada. Esta herramienta consta de tres grandes bloques: modelos de oferta-demanda de energía, integración de energías renovables con SIG y elaboración de una matriz de sostenibilidad basada en el “análisis multicriterio” de indicadores ambientales y sociales, incluyendo las “externalidades” y el “análisis del ciclo de vida” de las diferentes tecnologías energéticas. La herramienta estará integrada dentro de un SIG, con información territorial a escala nacional, y actuará como soporte de decisiones para que la planificación energética tenga un carácter integral, incorporando aspectos medioambientales, sociales, territoriales, tecnológicos y recursos.

Palabras Clave: sostenibilidad, Sistemas de Soporte de Decisiones, energías renovables, sistemas de información geográfica, análisis de decisión multicriterio

ABSTRACT

The two main sources of primary energy in Colombia are in crisis. The fossil fuels that had covered domestic demand for years will not be able to do it for long. The hydro potential, main source of electricity generation, is facing growing difficulties: environmental and social impacts created by large hydroelectric projects and, above all, the climate variability (temperature increase in The Andean Range and increases in the frequency and intensity of El Niño episodes-ENSO). Finally, the huge renewable energy potential is not participating significantly into the national energy mix.

UNAL and CIEMAT are collaborating in the development of an integrated energy planning tool. This tool focuses on three main issues: energy supply-demand models, renewable energies integration using GIS and sustainable matrix definition, based on social and environmental multi-criteria analysis and the life-cycle assessment of the different technologies. The tool will be part of a GIS and will support decision making in energy planning providing technical, resources, environmental, social and territorial information.

Key Words: sustainability, Decision Support Systems, renewable energy, geographical information systems, multi-criteria decision analysis

INTRODUCCIÓN

Un elemento esencial para alcanzar el desarrollo sostenible es contar con un suministro de energía adecuado y fiable, ya que ésta es vital para erradicar la pobreza, mejorar el bienestar humano y elevar la calidad de vida de la población. Sin embargo, muchas regiones del mundo no cuentan con un suministro confiable y, además, exceden los límites económicos de su uso, y, en otras áreas, la presión y degradación ambiental impiden mantener un desarrollo sostenible. En este sentido, se habla que un tercio de la población mundial todavía depende de los combustibles no comerciales como leña, residuos agrícolas y cerca de 1.700 millones de personas no tienen acceso a la electricidad (United-Nations, 2002) .

En la actualidad, es cada vez más palpable la dicotomía entre crecimiento y sostenibilidad. En este contexto, organizaciones mundiales como Naciones Unidas y la UNESCO han demostrado que los modelos actuales de producción y consumo de energía, en el medio y largo plazo, son insostenibles (Brown, 2002; United-Nations, 2002; Varios, 2004) .

Por otro lado, desde la comunidad científica se van recopilando cada vez mayor número de evidencias de la desigual distribución de la biodiversidad a lo largo del planeta y existen determinadas áreas privilegiadas especialmente ricas en cuanto al número e importancia de las especies que sustentan. Así el ecologista británico Norman Myers (2006) ha construido el concepto de "zonas calientes de biodiversidad" e identificado áreas críticas guiado por los trabajos e investigaciones de las organizaciones de actividades productivas. En esta línea, Colombia posee una gran riqueza ecológica. Quizás las dos zonas más excepcionales sean los Andes tropicales (IDEAM, 2005) clasificados como una de las dos zonas "hipercalientes" por su número excepcional de plantas endémicas (cercano a 20.000) y por la mayor concentración de vertebrados endémicos del mundo.

De la misma manera, Colombia se ha caracterizado por ser un país donde la relación entre energía y medio ambiente es especialmente conflictiva y ha generado incontables problemas tanto al medioambiente como a las comunidades que viven en las áreas de influencia de los proyectos energéticos (UPME, 2003) . Estas dificultades se han traducido en sobre costos para los proyectos y daños irreparables para el medioambiente y para las poblaciones afectadas. A pesar de que han existido procedimientos metodológicos para involucrar los costos ambientales en algunos de estos proyectos, los estudios tienen una fuerte carga subjetiva que genera inconvenientes para su cuantificación y valoración económica (World-Bank, 1992) , llegando en algunos casos a encontrarse con valoraciones que no son representativas ni de la riqueza en la biodiversidad natural ni de su condición social de país multiétnico y pluricultural.

En las evaluaciones ambientales sectoriales (World-Bank, 1992) se observa que han faltado herramientas de planificación que integrasen armónicamente los aspectos energéticos y ambientales, logrando la internalización de los costes externos medioambientales (externalidades) y los costes sociales. Esta valoración debería de haber sido reflejada en los planes de manejo ambiental, para su mitigación o compensación. Por el contrario, el problema se fue incrementando exponencialmente en un pasivo ambiental y, en algunos casos, con daños irreversibles e irreparables a las comunidades y a los ecosistemas (2005) .

Es de resaltar, que el desarrollo del país ha ido unido al crecimiento de la demanda eléctrica. Sin embargo, se requiere de herramientas robustas que puedan cumplir con el objetivo central del Plan Energético Nacional formulado por la Unidad de Planificación Minero – Energética: *maximizar la contribución del sector energético al desarrollo sostenible del País, planteando como eje central que “ En la medida que la economía crezca, se requiere de un sector energético seguro, confiable y eficiente para hacer de Colombia un país competitivo con desarrollo sostenible”* (2007) .

En tal sentido, el presente artículo recoge los planes para el desarrollo de una herramienta integral de planificación que supla el vacío que se ha venido presentando en este sector, logrando visualizar un horizonte más apropiado y real que las condiciones actuales, de acuerdo con la propuesta metodológica sugerida. Los lineamientos estarán basados en los criterios internacionales del desarrollo sostenible, aplicando diferentes técnicas para la valoración integral con métodos existentes (UNDESA, 2001; IAEA, 2005; Vera, *et al.*, 2007) para una aplicación espacio-temporal de orden Nacional o regional.

OBJETIVOS

El principal objetivo del proyecto que aquí presentamos es diseñar e implementar una metodología de modelación para la planificación energética integral, tipo plataforma, que considere de manera general todos los sectores de consumo y energéticos reales y potenciales de una región geográfica. Para ello, la plataforma debe de evaluar y valorar, mediante el uso del análisis del ciclo de vida (ACV) y de los procedimientos de valoración de externalidades, las consecuencias ambientales de la aplicación del sistema energético. Esta valoración habrá de ser equitativa y comparar dimensiones técnicas, económicas, sociales, ambientales e institucionales, creando un equilibrio de sostenibilidad energética y ambiental. El objetivo último será suministrar elementos de juicio para la toma de decisiones en el diseño de políticas energéticas y ambientales en el medio y largo plazo.

Como objetivos específicos del proyecto, de acuerdo a la estructura metodológica del mismo, podemos enumerar los siguientes:

1. Diseñar e implementar una metodología de planeación energética y ambiental integral, que mediante el análisis de ciclo de vida y la valoración de externalidades estime las consecuencias ambientales producidas por la implementación de un sistema energético, promoviendo el uso de energías sostenibles.
2. Propender a la implementación de una metodología para la cuantificación e integración de recursos energéticos renovables, utilizando SIG.
3. Estructurar la implementación de una matriz de sostenibilidad de energía – ambiente para la toma de decisiones en materia energética, utilizando modelos de análisis de decisión multicriterio – (AMCD), que suministre elementos de juicio para la planificación y toma de decisiones en el diseño de políticas energéticas y ambientales en el medio y largo plazo. Los métodos de análisis multiobjetivo identifican la mejor o las mejores soluciones considerando múltiples objetivos simultáneamente. Utilizando el AMCD se simulan nuevos escenarios a partir de los datos operados en la matriz.

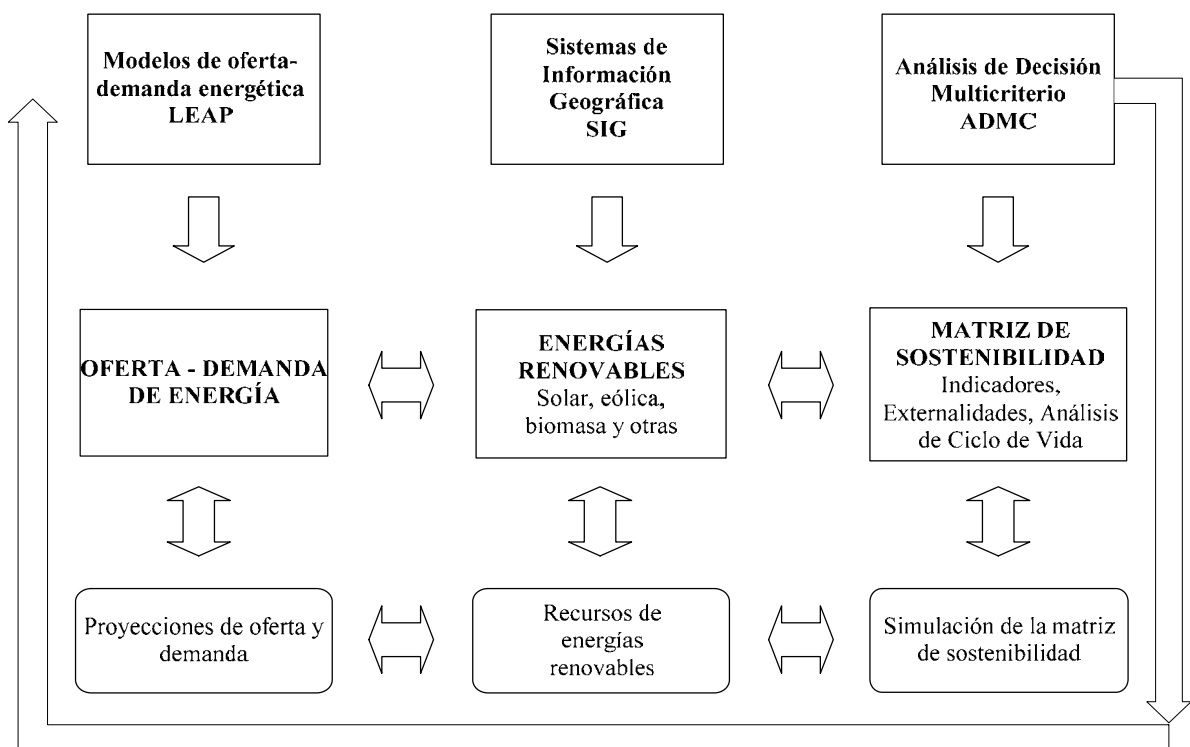


Figura 1. Diagrama de Flujo del Modelo.

METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto se estructura en tres grandes temas: oferta-demanda de energía, integración de energías renovables y sostenibilidad medioambiental (Ver Figura 1).

En el primer tema, se parte de una demanda de energía, con comportamiento normal, para calcular la oferta de energía necesaria para suplir esta demanda. Se identifican los impactos ambientales causados en esta matriz energética. Se valoran los impactos ambientales causados, utilizando técnicas de análisis del ciclo de vida (ACV) (Lago, *et al.*, 2006; Lago, *et al.*, 2007) y las externalidades (Varela, *et al.*, 1999). Los resultados de este bloque son tratados en el tercero con la construcción de la matriz de sostenibilidad y análisis multiobjetivo.

El desarrollo de este primer bloque se basa en el modelo LEAP (Long-Range Energy Alternatives Planning System) fue desarrollado conjuntamente por el Instituto de Ambiente de Estocolmo y la Universidad de Boston, con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.- PNUMA. (Quijano, 1990) El modelo esta constituido por una base modular en cuatro bloques de programas:

- a. Proyecciones macroeconómicas y demográficas.
- b. Escenarios energéticos.
- c. Agregación.
- d. Base de datos ambiental.

Los beneficios son su versatilidad y que se puede implementar con un año de información base muy bien desagregada, no requiere series de tiempo, determina la demanda agregada de energía, calcula la transformación y oferta de recursos, elabora el balance de energía y además calcula la emisión de contaminantes con factores de la EPA.

En el segundo tema se utilizan SIG para la integración de los recursos energéticos renovables (sobre estos aspectos se puede consultar la otra comunicación presentada por los autores en este Congreso).

En este tema, se parte de la caracterización del modelo actual de oferta y demanda de recursos de energías renovables (Dominguez, *et al.*, 2007) y se realiza el análisis geográfico de planificación estratégica en base a las restricciones de uso y mediante simulación de futuros escenarios de oferta – demanda con diferentes posibilidades tecnológicas. En este apartado, se pone un mayor énfasis en la evaluación del potencial de recurso renovable (fundamentalmente energía solar, eólica y biomasa), previendo ampliar la canasta energética en áreas potencialmente atractivas para la sustitución o inclusión de nuevas formas de energías. El resultado esperado es un mix tecnológico (Dominguez Bravo, *et al.*, 2007) sostenible y jerarquizado que se incorporará a la matriz de sostenibilidad mediante el ACV, y se integrará posteriormente a los modelos de planeamiento con nuevos escenarios.

El tercer objetivo es la construcción de la matriz de sostenibilidad (UPME, 2003), definida como la confluencia de diferentes dimensiones: tecnológica, ambiental, social, económica, institucional y cultural, que será usada como herramienta para la valoración objetiva de las actividades del ciclo energético sostenible. La matriz estará constituida por variables, indicadores, índices y criterios, todos ellos enmarcados bajo las mismas dimensiones. Los resultados de la matriz alimentarán la entrada de la estructura de consumo energético, cambiando de esta manera su composición, creando por lo tanto escenarios sostenibles (UNDESA, 2001; Vera, *et al.*, 2007), y cerrando el ciclo de la modelación integral. El cambio de la estructura y composición energética, presentará alternativas y elementos para la construcción de políticas energéticas y ambientales sostenibles. En esta matriz se evaluarán los impactos ambientales de los ciclos de producción de energía así como las externalidades o costos externos asociados a dichos ciclos y que no son recogidos en el precio de mercado y pagados por la sociedad. En el desarrollo de la matriz se contará igualmente con la recopilación de la información proveniente de los resultados del ACV de las diferentes alternativas energéticas y la información disponible para la valoración de externalidades. De esta manera se construirán indicadores de sostenibilidad (IAEA, 2005) que serán esenciales para la valoración integral de los escenarios. El resultado del análisis para la toma de decisiones será la valoración objetiva de todas las actividades del ciclo energético; la matriz (Smith, *et al.*, 2000) estará constituida con variables, indicadores, índices y criterios, todos ellos enmarcados bajo las mismas dimensiones tecnológica, ambiental, social, económica, institucional y cultural.

La secuencia del modelo (Ver Figura 2), integra cuatro elementos (LEAP, SIG, ACV y Matriz de Sostenibilidad) que una vez implementados contribuirán a una mejor definición de un nuevo modelo energético más sostenible que el actual (Brown, 2002; United-Nations, 2002; Varios, 2004), desarrollando un procedimiento metodológico que evalúe todas las formas de energía bajo los principios de la sostenibilidad, y con los mismos criterios de valoración.

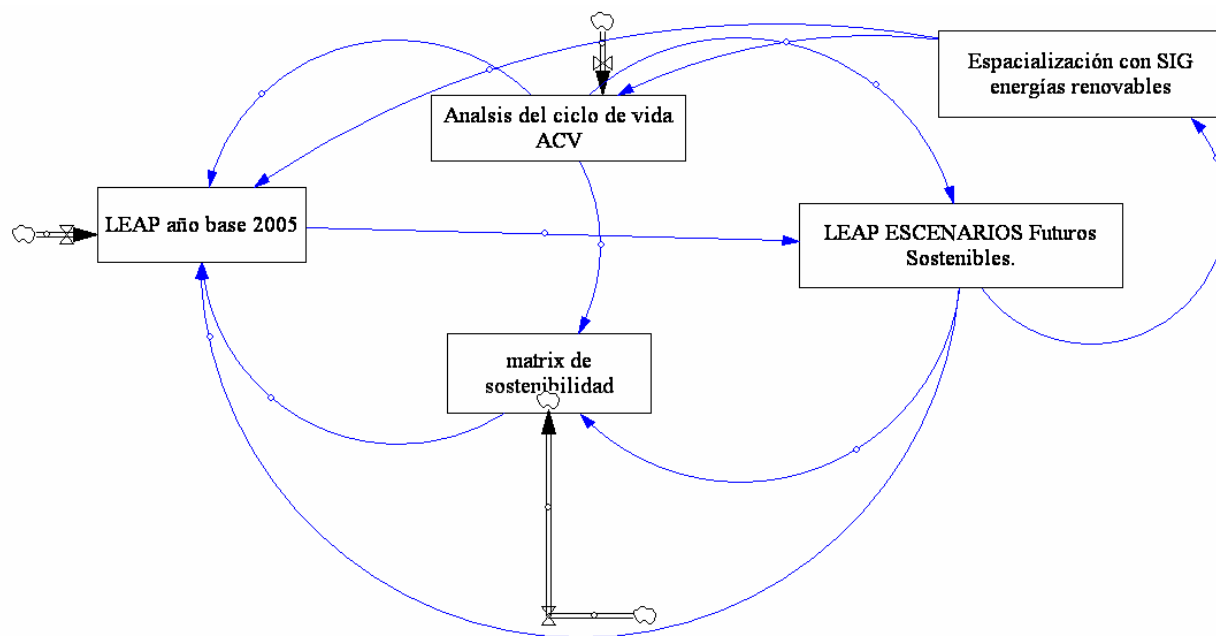


Figura 2. Iteraciones del Modelo Energéticos Sostenible

Como podemos ver en la figura 2, la iteración del modelo comienza ejecutando LEAP para el año base (se toma el año 2005 porque es la última información del balance de energía consolidado) y, por tanto, los resultados y primeras proyecciones estarán basados en la estructura energética inicial.

Paralelamente, se han construido dos módulos. Uno con el ACV de todas las fuentes de la actual canasta energética y de las fuentes potenciales que se introducirán en los escenarios (en nuestro caso las energías renovables) valoradas bajo los mismos criterios. Y otro, con la matriz de sostenibilidad, la cual estará alimentada por los resultados del módulo uno de ACV, y que, con la ayuda de las técnicas de análisis multiobjetivo (AMO), revelará todas las opciones energéticas existentes, presentando cuales son las opciones energéticas sostenibles. En este momento se crean unos escenarios sostenibles pero se debe corroborar si son factibles de satisfacer de la demanda de energía calculada en el primer paso del LEAP.

En ese momento, se inicia una tercera etapa que verifica si los escenarios son coherentes y podemos suministrar con los recursos renovables existentes la demanda de energía. En esta etapa, se inicia la espacialización de las fuentes energéticas con la ayuda de SIG, presentando opciones de energía solar, eólica, biomasa, con los cultivos energéticos y determinando las restricciones de orden ambiental, técnica y social. Aquí, se analizan variables climáticas, radiación solar, velocidad y dirección del viento, hidrología, pendientes, infraestructura, restricciones ambientales, ecosistemas, cultivos, usos del suelo y potencialidades y compatibilidades del uso del suelo y de la biomasa para la utilización de biocombustibles y energías renovables.

Finalmente y como se observa en el gráfico, existe una retroalimentación tanto del SIG hacia el ACV, como a la matriz de sostenibilidad y el LEAP, en donde se va construyendo y optimizando los escenarios, la satisfacción de la demanda y la sostenibilidad energética y ambiental.

RESULTADOS ESPERADOS

Al culminar la presente investigación se espera aportar una herramienta de simulación de planificación integral energética y ambiental, que con la utilización de los SIG, la valoración de externalidades, el análisis del ciclo de vida (Labriet, *et al.*, 2007, 2007) , y la consolidación de la matriz de sostenibilidad de respuesta a los siguientes aspectos:

- Potencialización del recurso de energías renovables.
- Valoración de los impactos y consecuencias ambientales.
- Análisis integral de los energéticos en el ciclo de vida.
- Simulación de una canasta energética con energías sostenibles,
- Obtención de una matriz de sostenibilidad energética – ambiental.
- Instrumentos para formulación de políticas energéticas y ambientales en el mediano y largo plazo.

ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO

Siguiendo el orden temático establecido en el apartado de metodología a continuación vamos a describir el estado actual del proyecto.

En el primer tema, se avanza en la construcción de la base de datos de la demanda energética desagregada por sectores de consumo. La base de datos tiene una estructura arbórea jerarquizada descendiente de mayor a menor, que se inicia con la demanda agregada por sectores de consumo, participaciones de energéticos por subsector y uso y, en el nivel más bajo, con la intensidad energética o consumo específico. Como se menciono anteriormente, se usa el modelo de prospección energética LEAP para el año base 2005 debido a que la información disponible energética y económica tiene un desfase en la recolección y organización de dos años.

En el segundo tema, se tiene toda la información de línea base para hacer los análisis de la caracterización del modelo de oferta y demanda de recursos de energías renovables y se realiza el análisis geográfico de planificación estratégica basado en las restricciones de uso. Con el objetivo de facilitar la elección de las variables más significativas para cada categoría de usos del suelo, se ha procedido en primer lugar a la obtención y análisis de las cifras absolutas y relativas procedentes de la superposición de cada variable y del mapa de usos del suelo, y de los resultados de un índice de asociación o correlación (Cramer's V) entre ellas. Las restricciones y los factores se han precisado de la siguiente manera:

Las restricciones corresponden a mapas binarios (0/1) o booleanos, en donde las zonas excluidas del análisis o máscaras gráficas (valor 0) pueden corresponder al fondo no útil de la imagen, a categorías de usos del suelo incompatibles con la analizada, o bien a las clases o intervalos de aquellas variables significativas donde se ha comprobado la ausencia justificada de dicha categoría. Por ello, algunas de las restricciones son comunes a diversas categorías, mientras que otras son específicas del uso analizado.

Los factores son mapas cuyos niveles digitales se distribuyen en una escala estándar, desde 0 (no apto) a muy apto, indicando la menor o mayor aptitud del píxel para que se localice el uso analizado. Para la configuración de dichos mapas, y en función de la naturaleza cualitativa o cuantitativa de cada variable y de su grado de asociación con el mapa de usos del suelo, se ha optado por diversos métodos:

- Estandarización de las variables cuantitativas cuya gradación ascendente o descendente se adecue a la aptitud para la localización del uso del suelo analizado.
- Ponderación de las clases o intervalos de las variables cuantitativas o cualitativas en función de la ocupación del uso del suelo analizado.

En el siguiente paso llegamos a unas zonas denominadas “provincias energéticas o potencialidades energéticas” teniendo en conjunto, la biomasa, la energía solar, la eólica y el potencial hídrico, correlacionándola con los lineamientos de la seguridad alimentaria.

En el tercer tema, se trabaja en la constitución de la matriz que comprende la selección de un conjunto de alternativas factibles, la optimización con varias funciones objetivo simultáneas y un único agente decisor, y procedimientos de evaluación racionales y consistentes. Para realizar la evaluación y decisión de un número finito de alternativas de solución, a través de:

- ☞ *Conjunto de alternativas* estable, generalmente finitas de soluciones factibles -que cumplen con las restricciones-, posibles o previsibles. Se asume que cada una de ellas está perfectamente identificada, aunque no son necesariamente conocidas en forma exacta y completa todas sus consecuencias cuantitativas y cualitativas.
- ☞ *Criterios de evaluación*, atributos, objetivos que permiten evaluar cada una de las alternativas y analizar sus consecuencias, conforme a los pesos o ponderaciones asignados por el agente decisor y que reflejan la importancia relativa de cada criterio.
- ☞ *Matriz de impactos*, que resume la evaluación de cada alternativa conforme a cada criterio; una valoración precisa o subjetiva de cada una de las soluciones a la luz de cada uno de los criterios; la escala de medida de las evaluaciones, que pueden ser cuantitativa o cualitativa.

CONCLUSIÓN

A lo largo de este artículo hemos expuesto los trabajos que se están desarrollando desde la UNAL, en colaboración con el CIEMAT, para desarrollar una herramienta de ayuda a la planificación energética. Esta herramienta integrará en un proceso iterativo, aspectos energéticos, sociales y ambientales, cuyo resultado será la propuesta de diferentes escenarios energéticos con la valoración de la sostenibilidad global, y de cada uno de sus componentes, en cada uno de ellos.

El proyecto es muy ambicioso porque trata de unir diferentes herramientas y técnicas que hasta ahora se habían manejado de forma individual en los procesos de planeamiento. El objetivo del proyecto redundará sin duda en una mejora de los métodos tradicionales acorde con los criterios y parámetros propios de la sostenibilidad.

AGRADECIMIENTOS

La Agencia Española de Cooperación internacional para el Desarrollo (AECID) ha financiado esta propuesta en el marco del programa PCI-INTERCAMPUS con Iberoamérica como proyecto de cooperación entre la Universidad Nacional de Colombia y el CIEMAT en España.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAVV (2005): *Informe del estado de los recursos ambientales en Colombia*. Contraloría General de la República, Bogotá.
- AAVV (2007): *Plan Energético Nacional 2006 - 2025, contexto y estrategias*. Unidad de Planeación Minero Energética, Bogotá.
- Brown, M. M. (2002): 'Johannesburg and the MDGs', *CHOICES supplement - Mobilising Actions for Sustainable Development. Global Partnerships for the 21st Century*. UNDP, New York.
- Dominguez Bravo, J., *et al.* (2007): GIS approach to the definition of capacity and generation ceilings of renewable energy technologies. *Energy Policy*, 35 (10): 4879-4892.

- Dominguez, J. y Amador, J. (2007): Geographical information systems applied in the field of renewable energy sources. *Computers & Industrial Engineering. A Cluster on Planning and Management of Energy and Infrastructure Engineering Projects*, 52 (3): 322-326.
- IAEA (2005): *Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies*. International Atomic Energy Agency, United Nations Department of Economic and Social Affairs, International Energy Agency, Eurostat, European Environment Agency, Vienna.
- IDEAM (2005): *Estado de los recursos Naturales Renovables en Colombia*. IDEAM, Bogotá - Colombia.
- Labriet, M., et al. (2007): Energy policies in Spain in the context of the new European energy strategy. *9th IAEE (International Association for Energy Economics) European Energy Conference*. Florence, Italy.
- Labriet, M., et al. (2007): Future Energy Policies in Spain given the European Energy and Climate Policy Framework. *International Energy Workshop*. Stanford, USA.
- Lago, C., et al. (2007): *Análisis del Ciclo de vida de Combustibles alternativos para el Transporte*. CIEMAT, Madrid.
- Lago, C., et al. (2006): *Life Cycle and Environmental Analysis of Biofuels in Europe*. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas CIEMAT, Madrid, 435 pp.
- Myers, N. (2006): <http://www.answers.com/topic/norman-myers> developed the concept of [biodiversity hotspots](#). [Consultado agosto 2006]
- Quijano, R. (1990): *Aplicación del Modelo LEAP caso Colombia proyección 2000-2010*. Ministerio de Minas y Energía Universidad Javeriana Facultad de Ingeniería, Bogotá.
- Smith, R., et al. (2000): *Decisiones con múltiples objetivos e incertidumbre*. Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, Medellín (Colombia).
- UNDESA (2001): *Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies*. United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York.
- United-Nations (2002): *WEAHB Working Group, A framework for action on energy*. UN, New York.
- UPME (2003): *Evaluación del plan energético Nacional 2010*. Bogotá (Colombia).
- Varela, M. y Sáez, R. (1999): *Externe National Implementation Spain*. The European Commission, Joule II Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas CIEMAT, Madrid.
- Varios (2004): http://www.barcelona2004.org/esp/banco_del_conocimiento/dialogos/ficha.cfm?IdEvento=156 UNESCO. [Consultado diciembre 2006]
- Vera, I. y Langlois, L. (2007): Energy indicators for sustainable development. *Energy Third Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 32 (6): 875-882.
- World-Bank (1992): *Environmental Assessment Electrical power Colombia*. Interconexión Eléctrica S.A. Ministerio de Minas y Energía, Bogotá.

Rodríguez Surián, Manuel; Moreira Madueño, José Manuel; Quijada Muñoz, Javier; Corzo Toscano, Mariano y Gil Jiménez, Yolanda (2008): Evaluación y seguimiento multitemporal de la desertificación a través del Sistema de Información Geográfica Ambiental de Andalucía. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 737-751. ISBN: 978-84-96971-53-0.

EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO MULTITEMPORAL DE LA DESERTIFICACIÓN A TRAVÉS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AMBIENTAL DE ANDALUCÍA

Rodríguez Surián, Manuel¹; Moreira Madueño, José Manuel¹; Quijada Muñoz, Javier¹; Corzo Toscano, Mariano² y Gil Jiménez, Yolanda²

(1) Dirección General de Participación e Información Ambiental. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Jo-sem.moreira@juntadeandalucia.es, javier.quijada@juntadeandalucia.es, manuel.rodriquez.surian@juntadeandalucia.es

(2) Desarrollo de la Red de Información Ambiental de Andalucía. (EGMASA). mcorzo@egmasa.es, ygil@egmasa.es

RESUMEN

La desertificación, como proceso de degradación provocada por la confluencia de unas condiciones climáticas de carácter árido o semiárido junto con actuaciones humanas agresivas y poco sostenibles en el medio natural y productivo y teniendo en cuenta el contexto actual de cambio climático, es un fenómeno medioambiental del cual parece oportuno realizar un seguimiento, tanto de su evolución histórica reciente como de los cambios que los nuevos escenarios climáticos pueden condicionar con objeto de elaborar estrategias de mitigación o puesta en valor, además de abordar una mayor concienciación de los problemas que se nos avecinan.

La disponibilidad de información histórica en un Sistema de Información Geográfica referente a usos y coberturas del suelo y a datos climáticos junto con otras informaciones del medio (relieve, suelos, geología, gestión del medio.....), así como de información climática de los posibles escenarios futuros de cambio por periodos decenales hasta 2100 en el seno de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM), ha permitido en el marco de los proyectos europeos DesertNet I y DesertNet II el desarrollo de modelos para el diagnóstico de las áreas afectadas por procesos históricos de desertificación y las zonas de incidencia actual y futura, a la vez que es aplicada una metodología común al contexto europeo para la delimitación de las áreas sensibles a la degradación. Estos modelos se aplicaron a todo el territorio andaluz obteniéndose una visión de la incidencia temporal y espacial de este fenómeno.

Palabras Clave: desertificación, Andalucía, DesertNet, cambio climático

ABSTRACT

Desertification, as a process of degradation caused by the confluence of certain arid or semi-arid climatic conditions together with aggressive and barely sustainable human activities in the natural and productive environment, and also bearing in mind the current context of climate change, is an environmental phenomenon whose monitoring would seem to be advisable, both with regard to its evolution in recent years and in relation to the changes that the new climatic scenarios may determine, in order to prepare mitigation or enhancement strategies, and also to raise greater awareness of the approaching problems.

The availability of historical information in a Geographic Information System referring to land uses and land cover and to climatic data, together with other environmental information (relief, soils, geology, environment management.....), as well as decade-by-decade climatic information on possible future change scenarios until 2100 in the Andalusian Environmental Information Network (REDIAM), has permitted, within the framework the European projects DesertNet I and DesertNet II, the development of models for diagnosing the areas affected by historical desertification processes and the areas of present and future incidence, while at the same time a common methodology is applied to the European context for the delimitation of degradation-sensitive areas. These models have been applied to the entire territory of Andalusia, providing a view of the temporal and spatial incidence of this phenomenon.

Keywords: desertification, Andalusia, DesertNet, climate change

INTRODUCCIÓN

En ambientes mediterráneos la desertificación no es algo nuevo, inicialmente se inició con el establecimiento durante el holoceno de unas condiciones climáticas de aridez con el consiguiente descenso del potencial biológico de los suelos. A estas alteraciones naturales se ha unido un continuo manejo de los ecosistemas por parte del hombre con el establecimiento de la agricultura y ganadería. Ya desde el neolítico los distintos pueblos y civilizaciones han ido incrementando su presión sobre el medio mediante roturaciones de tierras para el cultivo, el pastoreo, la explotación maderera,... de forma paralela a los incrementos demográficos.

Pero no es hasta el siglo XX donde se pone de manifiesto la capacidad de impacto y sobreexplotación de los recursos naturales que el desarrollo tecnológico reciente ha puesto en la mano del hombre. No sólo tiene capacidad para devastar la cobertura vegetal de extensas zonas o para destruir o contaminar el suelo a ritmo acelerado, o degradar y desecar amplias zonas húmedas, sino que está siendo capaz de producir cambios en el equilibrio climático planetario de consecuencias imprevisibles.

Los últimos informes, especialmente el de febrero de 2007, presentados por el panel internacional sobre el cambio climático (IPCC) ponen de manifiesto que el cambio climático no solo se manifestará como un deshielo de polos y glaciares de alta montaña sino que afectará también a regiones de latitudes medias como es el caso de Andalucía, donde las actuales zonas áridas y semiáridas tenderán a extenderse y donde los hábitats de distribución restringida y condicionados climáticamente verán muy comprometida su existencia, siendo afectados una gran número los de ecosistemas particulares y especies endémicas existentes en la región.

La desertificación, como proceso de degradación auspiciado por la confluencia de unas condiciones climáticas de carácter árido o semiárido junto con actuaciones humanas agresivas y poco sostenibles en el medio natural y productivo es un problema endémico de los ambientes mediterráneos, y teniendo en cuenta el contexto actual de cambio climático, parece oportuno realizar un seguimiento, tanto histórico como de futuro de la evolución de este fenómeno en la región andaluza con objeto de abordar una mayor concienciación de los problemas que se avecinan.

El estudio y control de los procesos desencadenantes de la desertificación es una línea prioritaria dentro de la actividad de la Consejería de Medio Ambiente la cual se encuentra desarrollando un Plan de Control Andaluz de la Desertificación en el que se establece un diagnóstico inicial y marca como su objetivo principal la prevención o mitigación de la degradación en las tierras afectadas y la puesta en valor de las zonas áridas naturales o naturalizadas.

Como parte de las carencias y necesidades puestas en evidencia en la fase de redacción y desarrollo de dicho plan y en el marco del Proyecto DesertNet I se desarrollaron e implementaron herramientas de modelización eficaces para la identificación de las áreas de actuación. De esta manera se obtuvieron modelos de diagnóstico de las áreas afectadas por procesos históricos y las zonas de incidencia actual a la vez que se adoptaba una metodología común al contexto europeo para la delimitación de las áreas sensibles.

La desertificación no es un fenómeno estático, sino que debe ser considerado como un fenómeno dinámico, condicionado en gran parte por las fluctuaciones climáticas y por la evolución de la presión productiva ejercida por el hombre en la explotación de los recursos naturales. Bajo esta premisa y tomando como base los modelos desarrollados en el proyecto **DesertNet I** se ha planteado su aplicación en el estudio espacio-temporal de la desertificación. Este objetivo ha sido la base principal de los trabajos desarrollados en el ámbito del Proyecto Europeo de Cooperación Interregional **DesertNet II** del Programa Interreg III B como una acción piloto de carácter regional.

La existencia de la Red de Información Ambiental de Andalucía ha permitido contar con una infraestructura muy completa de datos ambientales. El subsistema CLIMA, donde se recogen y estructuran datos climáticos procedentes de todas las redes de seguimiento existentes a nivel regional ha permitido el desarrollo de estudios, tanto históricos y actuales como tendentes a prever escenarios sobre el comportamiento futuro de variables como la precipitación y las temperaturas a lo largo del siglo XXI.

Igualmente la existencia de un programa de levantamiento de información sobre los usos y coberturas vegetales del suelo ha permitido contar con información referida a los años 1956-1999-2003 a escala 1:25.000, sobre una única base cartográfica de referencia y utilizando los mismos criterios de interpretación, lo que facilita la evaluación de los cambios y tendencias de usos del territorio y su implicación en los fenómenos erosivos.

EL MODELO CONCEPTUAL

No es la desertificación un fenómeno nuevo, su incidencia secular hace que se pueda definir una *desertificación heredada*, considerada como difícilmente reversible y que conforma actualmente un paisaje en equilibrio, actualmente naturalizado y de alto valor ecológico. Paralelamente la desertificación se manifiesta también en zonas donde los procesos que la causan se muestran activos en la actualidad, estas áreas de *desertificación actual* presentan un nivel de degradación que aún no alcanza niveles irreversibles y donde es posible mediante la adopción de medidas correctoras mitigar la incidencia de esta problemática (López Bermúdez, 2001). Estas zonas son en gran medida áreas fluctuantes, aunque en progresivo deterioro, determinadas por la variabilidad climática a medio plazo y por la explotación del medio en función de su rentabilidad circunstancial.

Igualmente importante se muestra la necesidad de realizar una identificación de los factores de *riesgo de degradación o desertificación*, aún cuando su incidencia sobre el medio no muestre señales de deterioro de éste. El establecimiento de indicadores de seguimiento de los factores implicados, ya sea directamente o a través de sus efectos, puede permitir un diagnóstico precoz de los problemas y promover una rápida y económica corrección de estos. El establecimiento de las *áreas sensibles o vulnerables* a través de estos indicadores determinará la fragilidad de los territorios y su potencialidad a sufrir este fenómeno.

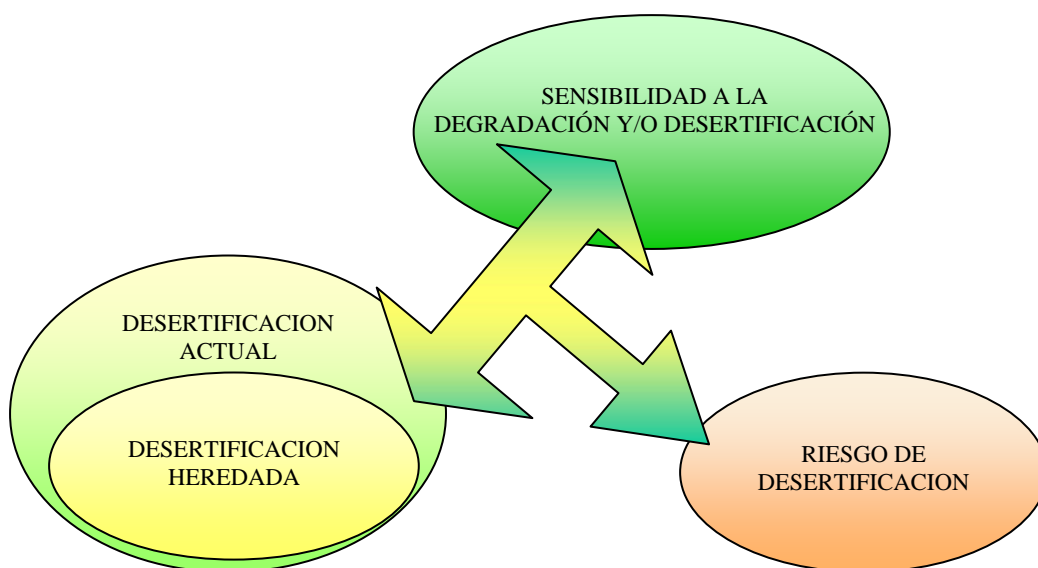


Figura 1. Esquema conceptual de la definición de Riesgo de Desertificación (Proyecto DesertNet II)

La conjunción del diagnóstico (Figura 1) de las áreas de desertificación heredada, áreas de desertificación actual y áreas sensibles determinará el riesgo de desertificación, donde se recoge el estado de las tierras de Andalucía junto con las áreas de mayor incidencia y actividad de los procesos de degradación en relación con la desertificación.

LA INFORMACIÓN

La diversa y variada información necesaria para realizar este proceso de evaluación procede de la Red de Información Ambiental de Andalucía, la cual produce, normaliza y difunde la información sobre el medio ambiente en Andalucía, constituyendo una herramienta especialmente útil para la gestión, la investigación, la toma de decisiones y el conocimiento en general, y en última instancia, la mejora del medio ambiente y su sostenibilidad.

Parte de la información, la considerada más dinámica, es fruto de programas continuos de generación de información que han posibilitado el estudio multitemporal de la desertificación. Dentro de esta categoría de información se encuentra la climática, la referente a los usos y coberturas vegetales del suelo, biodiversidad y la evolución de las aguas subterráneas, las dos primeras han sido elaboradas en el contexto del Sistema de Información Geográfica Ambiental de Andalucía y la tercera recopilada de distintas publicaciones (IGME 1988, 1998). El resto de información de carácter menos dinámico (geomorfología, suelos, litología, relieve, intensidad de formas erosivas, capacidad de uso de las tierras....), se ha mantenido constante en el proceso de evaluación.

Toda la información gráfica, tanto la generada con formato vectorial como la obtenida en formato raster ha sido ajustada y/o transformada a una malla de 80 metros de origen único y que cubre todo el territorio regional con objeto de realizar todos los procesos de cálculo. Las herramientas informáticas empleadas para el tratamiento de la información han sido ArcInfo y Arcgis 9.2 para el tratamiento y manejo de la información vectorial y raster, Amatel para información raster y Arcgis 9.2 para el análisis y representación gráfica de los resultados

La elaboración de la información climática

Para el análisis de las condiciones climáticas y medioambientales en el siglo XX se utilizaron datos de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima diaria obtenidos en estaciones meteorológicas distribuidas por toda la región. Las estaciones pertenecen en su mayor parte a la red de estaciones meteorológicas secundaria de la Agencia Estatal de Meteorología, si bien se utilizaron datos de estaciones meteorológicas automáticas de ese mismo organismo para el cálculo de la erosividad de la lluvia.

Los periodos de datos analizados son 1927 - 1956, 1971 - 2000, y 1976 - 2005. Se seleccionaron los datos de precipitaciones y temperaturas que dispusieran de, al menos, el 80% de los registros en el periodo. En el caso del primer periodo, dado el escaso número de observatorios que cumplían la premisa general, este criterio se flexibilizó para disponer de una cobertura puntual más densa.

El cálculo de los escenarios de precipitación y temperatura en el siglo XXI desarrollados para la Consejería de Medio Ambiente se han obtenido haciendo downscaling de las salidas de tres modelos de circulación general: el ECHAM4/OPYC3 alemán, el CGCM2 canadiense, y el HadAM3 de Gran Bretaña. Los tres modelos se han aplicado a dos escenarios de emisiones futuras: el A2, caracterizados por el continuo crecimiento, y el B2, en el que destacaría la protección del medio ambiente y la tendencia hacia la igualdad social.

A partir de las diferentes salidas se han obtenido los valores medios de precipitación y temperatura correspondientes a los periodos 2011 - 2040, 2041 - 2070 y 2071 - 2100. Dado que el estudio parte de estaciones meteorológicas históricas en las que se han corregido inhomogeneidades y reconstruido las lagunas temporales, la simulación permite obtener datos diarios para todas ellas a lo largo del siglo XXI, obteniéndose 769 series de precipitación y 220 de temperatura.

Con objeto de permitir el análisis espacial los resultados obtenidos para cada estación meteorológica y cada variable medioambiental, han sido espacializados utilizando dos técnicas concretas. Las precipitaciones y la erosividad de la lluvia han sido espacializadas utilizando el método del inverso de la distancia, mientras que temperaturas y evapotranspiración potencial se han espacializado mediante la regresión múltiple de variables fisiográficas y la adición de los residuos mediante el inverso de la distancia.

La elaboración de la información sobre usos del suelo y biodiversidad

Paralelamente y en virtud del programa de levantamiento de información sobre los usos y coberturas vegetales del suelo desarrollado a través de la Red de Información Ambiental de Andalucía, la Consejería de medio ambiente dispone de información relativa a la evolución de los usos en el ámbito regional referida a los años 1956-1999-2003.

Delimitada sobre una base cartográfica común y una única cobertura de información fruto de un proceso de interpretación de cambios, que no de usos del territorio, se ha interpretado con criterios similares (Moreira et al., 2007) lo que hace que todo análisis sea coherente y no influenciado por geometrías e interpretaciones divergentes. En este mapa se han distinguido hasta 162 clases de usos agrupados en seis niveles jerárquicos diferenciados. Como información complementaria las áreas forestales y naturales llevan asociada información taxonómica relativa a especies dominantes y codominantes en el estrato arbóreo y arbustivo obtenida a partir de un intenso trabajo de campo.

EL DIAGNÓSTICO

La desertificación heredada

Áreas donde secularmente han incidido desde tiempos remotos los procesos causantes de la desertificación, provocando sobre el territorio una degradación de la capacidad productiva de las tierras de tal manera que para obtener producciones agrícolas es necesario emplear elementos tecnológicos e inputs de alto valor, además de tener que realizar actuaciones sobre el medio de fuerte impacto ambiental.

Son tierras donde la desertificación es un proceso natural al que se han adaptado unas actuaciones humanas sobre el medio desde tiempo históricos, prácticamente desde el inicio de la civilización, Esta conjunción de factores ha conformado unos paisajes desérticos que constituyen en sí mismos áreas de un alto valor ecológico y paisajístico donde más que su recuperación, habría que considerar su puesta en valor como un recurso ambiental excepcional.

Su determinación (Figura 2) se ha realizado a partir de información climática de pluviometría y evapotranspiración, información referente a geformas heredadas, identificando badlans (Moreira y Rodríguez, 2005), áreas con altas intensidades de formas erosivas (Empresa Nacional Adaro, 1983) y cuencas con régimen hídrico de ramblas, información edáfica (Iara-CSIC, 1989) referente a profundidad de suelo expresado como índice de leptolización y salinidad natural y, por último, una valoración de las cabeceras de las series de vegetación (Rivas Martínez, 1987) respecto a una situación de degradación propia de las zonas desertificadas.

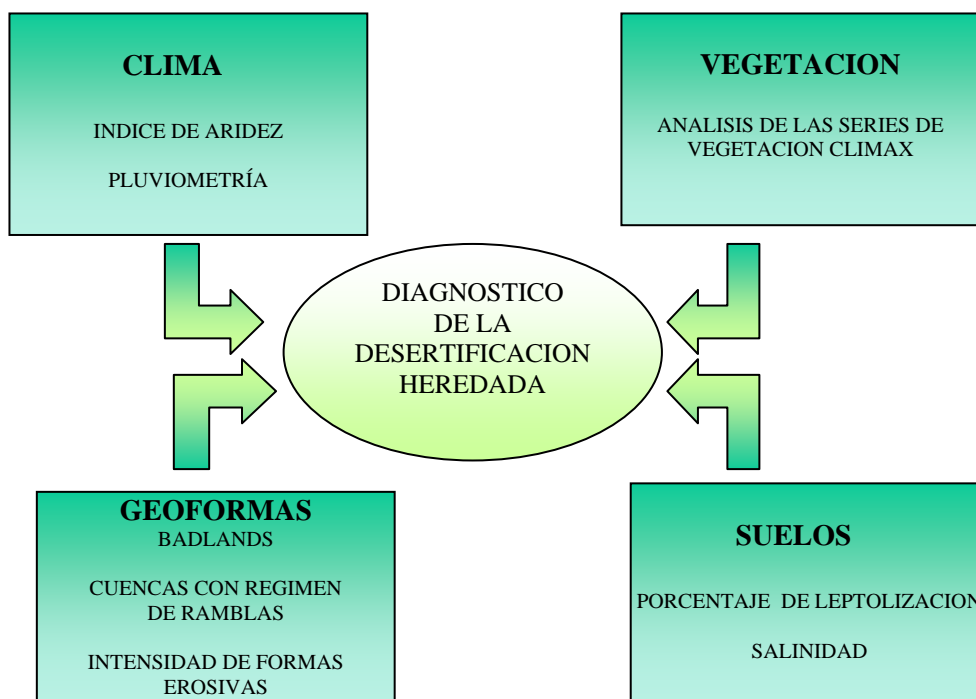


Figura 2. Esquema del diagnóstico de la Desertificación Heredada

La desertificación actual

Frente a la desertificación calificada como proceso naturalizado, derivado de la evaluación de series históricas o procesos procedentes de ciclos temporales largos, existen procesos actuales que actúan tanto sobre las zonas naturalmente desérticas, como sobre otras que han sufrido recientemente o están sufriendo degradaciones que pueden llevar a la desertificación de dichos territorios.

La combinación de información clasificada relativa a clima, aguas subterráneas, adecuación de uso y capacidad productiva del suelo, usos y biodiversidad, y geomorfología (Figura 3) determina las áreas actualmente desertificadas o cercanas a la desertificación y donde los procesos están actualmente activos. Estas zonas presentan una producción agrícola tradicional de carácter marginal, gran parte de las áreas de cultivo se han abandonado, acentuándose la degradación de las mismas y sólo perviven cultivos altamente tecnificados y de alto valor añadido capaces de hacer rentables las inversiones y gastos corrientes necesarios para su producción. Una vez espacializada la desertificación actual se han añadido todas aquellas áreas diagnosticadas con desertificación heredada, obteniéndose así, todas las zonas desertificadas en la actualidad, tanto como consecuencia de causas naturalizadas o históricas como aquellas que son consecuencia de procesos recientes. A continuación se detalla el tratamiento y análisis realizado sobre la información:

El clima se ha valorado a partir de precipitación, evapotranspiración y capacidad de retención de los suelos, determinándose el balance hídrico, generándose un nuevo indicador a partir del nº de días al año con déficit hídrico.

La degradación de las aguas subterráneas se ha realizado valorando información relativa a intrusiones, salinidad y sobreexplotación de carácter puntual y asociada tanto a la red de control del IGME como a las caracterizaciones periódicas realizadas por este mismo organismo (IGME, 1998 y 1988), el resultado se ha asociado espacialmente a unidades físicas de alta permeabilidad que conforman los diferentes acuíferos.

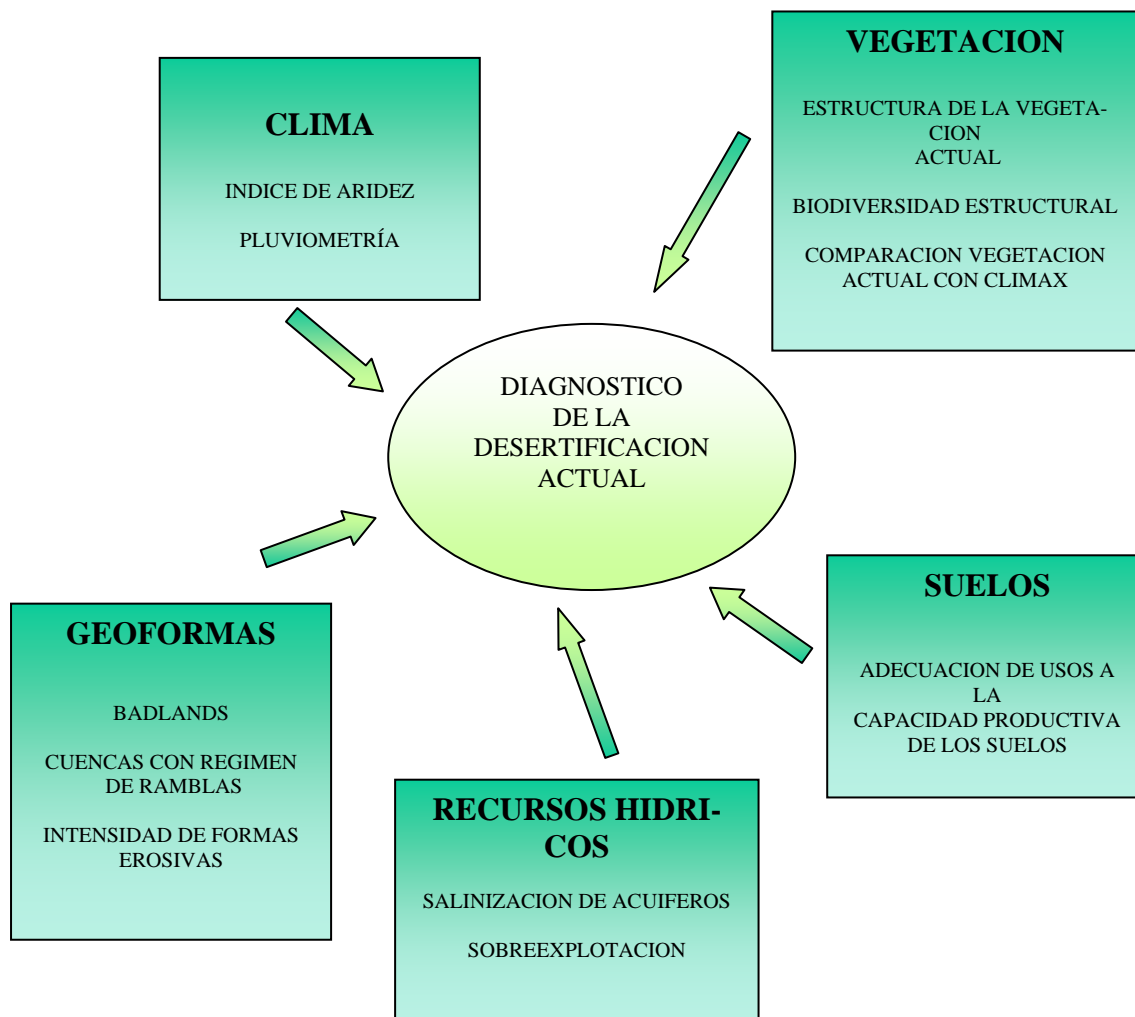


Figura 3. Esquema del diagnóstico de la Desertificación Actual

El impacto causado por la actividad humana ha sido valorado a través de la adecuación de los usos actuales a la capacidad productiva de las tierras, de tal manera que una no adecuación del uso a dicha capacidad supone un alto riesgo de desencadenar la desertificación. Este análisis se ha realizado a partir de un mapa de Capacidad de Uso General de la Tierras de Andalucía (Moreira y Rodríguez, 2005) y de las distintas coberturas de usos del suelo. Se ha considerado que la mayor intensidad de uso sobre suelos inadecuados comporta un mayor riesgo de desertificación.

La vegetación actual se ha evaluado a partir de tres variables: la estructura de la vegetación (a mayor complejidad estructural menor grado de desertificación), biodiversidad vegetal (a mayor número de hábitats presentes menor grado de desertificación) (Quijada et al., 2005) y vegetación actual (se ha comparado la vegetación actual frente a la esperada según la serie de vegetación dominante en el territorio).

Igualmente se ha incorporado la misma variable que valora las geofomas empleada en el diagnóstico de la desertificación heredada.

Por último, las áreas identificadas como de desertificación heredada se incluyen en esta valoración como un subconjunto de las áreas afectadas por la desertificación en la actualidad.

La Sensibilidad a la degradación-desertificación

Para caracterizar la sensibilidad a la degradación-desertificación de las tierras se ha utilizado el modelo MEDALUS (Kosmas et al., 1999) que permite identificar las áreas vulnerables o sensibles a la desertificación mediante la aplicación de indicadores biofísicos y socio-económicos. Este modelo ha sido el elegido por los distintos socios participantes en los proyectos europeos DesertNet | y DesertNet 2 como modelo de diagnóstico con objeto de tener una visión común de esta problemática en los distintos países del arco norte Mediterráneo.

Básicamente el modelo se basa en la implementación de cuatro índices de calidad de factores directamente relacionados con la desertificación: suelo, clima, vegetación y gestión del territorio (Figura 4). Dentro de cada factor se realiza un análisis de los principales parámetros o indicadores que marcan su sensibilidad a la degradación. Los procesos de cruce de información se realizan mediante medias geométricas y posterior clasificación.

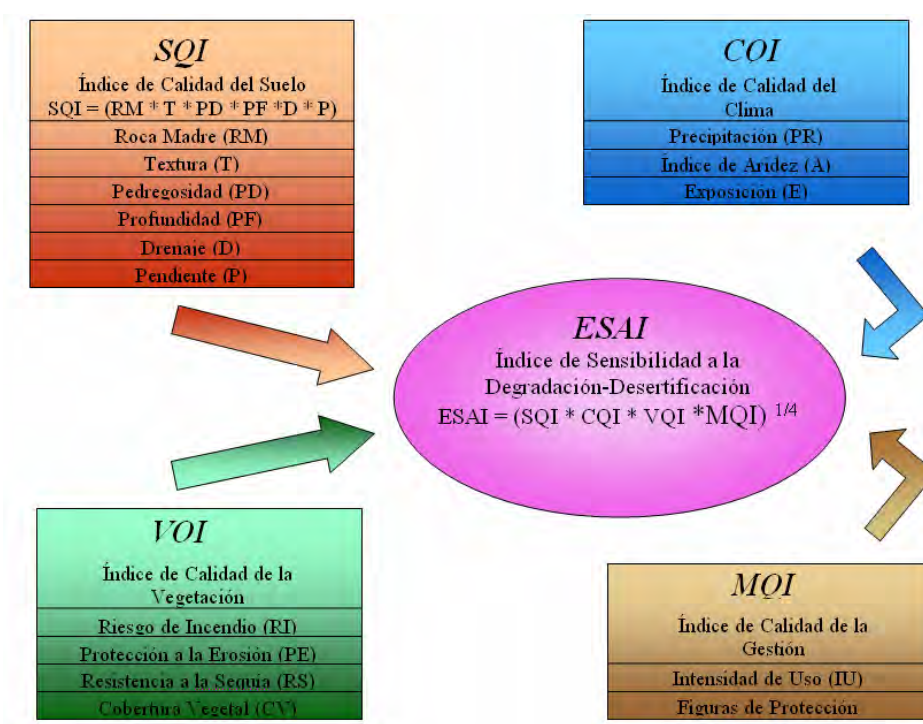


Figura 4. Esquema del diagnóstico de la Sensibilidad a la degradación-desertificación

El Riesgo de desertificación

Para definir el mapa de riesgo de desertificación se ha realizado la integración en un único grid de la información resultante de los tres procesos de diagnóstico anteriores (Figura 1) y se ha procedido a una reclasificación en la que se pone de relieve las áreas naturalmente afectadas, las afectadas por actuaciones recientes y actualmente activas y las zonas no afectadas pero con una fuerte incidencia de procesos que conducirán a medio-largo plazo a una importante degradación del medio que desembocara en una situación cercana a la desertificación

RESULTADOS

El análisis multitemporal de las series climáticas, tanto de series históricas como de su proyección hacia el futuro ha permitido obtener distintos escenarios adaptados a la disponibilidad de información referente a usos del suelo.

De esta manera se han espacializado para los periodos 1927 - 1956, 1971 - 2000, 1976 - 2005, 2011 - 2040, 2041 - 2070 y 2071 - 2100 la precipitación y la temperatura y la evapotranspiración por periodos decenales, empleándose esta información para determinar la influencia del clima en los procesos de degradación del medio y utilizando como indicadores el índice de aridez, expresado como la relación entre precipitación y evapotranspiración, y el número de días con déficit hídrico.

Igualmente la disponibilidad de información sobre usos del suelo referenciada a 1956, 199 y 2003 ha permitido realizar la valoración, para estas tres fechas, del número de especies, biodiversidad estructural, coberturas vegetales, riesgo de incendios,... con objeto de alimentar los modelos propuestos.

En definitiva, conjugando periodos climáticos y fechas de referencia de los usos del territorio, se ha obtenido un diagnóstico de la desertificación actual (Figura 6) y de la sensibilidad de las tierras a este proceso de degradación (Figura 7) referenciadas a 1956, 1999 y 2003, además del diagnóstico de las áreas de desertificación heredada (Figura 5). La integración de los diagnósticos anteriores define el mapa de Riesgos de Desertificación (Figura 8). En las proyecciones al futuro (2040, 2070 y 2100) se ha mantenido, no obstante, constante las evaluaciones derivadas de la vegetación del 2003 ya que la evolución de la vegetación en función de las condiciones climáticas previstas no ha podido ser valorada.

El análisis de la evolución de las principales variables climáticas permite determinar la existencia de una tendencia ascendente de las temperaturas y evapotranspiración potencial y descendente de las precipitaciones. Esta tendencia ha sido progresiva a lo largo de la segunda mitad del siglo XX con tasas de incremento de las temperaturas inferiores a las dos décimas de grado por década. Sin embargo en los últimos años del siglo XX y principios del XXI se han producido tasas de incremento considerables produciendo cambios significativos, de hasta +0,25°C en los valores de temperatura media en los periodos 1971 - 2000 y 1976 - 2005. Los escenarios de cambio climático hacia el futuro señalan la consolidación de una elevada tasa de incremento de las temperaturas. La evapotranspiración potencial, estrechamente ligada al comportamiento de las temperaturas, denota un comportamiento similar.

En cuanto a las precipitaciones éstas se han mantenido en niveles similares en el periodo 1927-2005 aunque las variaciones en el comportamiento de las precipitaciones mostradas en las simulaciones del clima futuro son muy elevadas, con reducciones de -35% en el periodo 2011 - 2040 y que llegarían al -40% en el periodo 2071 - 2100 (en relación al periodo 1976 - 2005).

La evolución de los usos del suelo en el periodo estudiado 1956-2003 muestra una gran estabilidad en la dedicación agrícola y forestal de las tierras de Andalucía a nivel general manteniéndose relativamente estable desde 1956 a la actualidad. Si se producen ciertos cambios dentro del uso agrícola al producirse una intensificación e incremento de la superficie en regadío, aparecer la agricultura forzada de los invernaderos almerienses y aumentar la superficie de olivar.

En las superficies forestales el cambio más importante acaece a las superficies arboladas que muestran un incremento cercano a las 390.000 has, igualmente se observa un aumento en la densidad de los matorrales y una disminución de las formaciones arbustivas, descenso en gran medida debido a repoblaciones.

En cuanto a los resultados obtenidos en el diagnóstico de la desertificación heredada (Figura 5) es Almería la provincia donde prácticamente se localizan la totalidad de los territorios afectados por procesos históricos de desertificación (32 % superficie provincial), registrándose su presencia, aunque en menor medida en la provincia de Granada (6 % superficie provincial). A nivel regional la desertificación heredada representa no más de un 4% de la superficie, integrando las áreas conocidas como badlands, que actualmente se encuentran natura-

lizadas, y que constituyen espacios naturales de gran interés, como el Paraje Natural Desierto de Tabernas, y en los que no tienen sentido actuaciones de restauración, sino de puesta en valor.

En cuanto a la desertificación actual, se pone de manifiesto una tendencia ligeramente ascendente de las superficies afectadas desde 1956 a la actualidad, localizándose, fundamentalmente, en el extremo suroriental de la región los mayores incrementos. Este aumento es achacable a una intensificación de los usos del territorio que ha traído aparejada una sobreexplotación y degradación de las aguas subterráneas, ya que la variación de los registros climáticos no es muy significativa en estas áreas, sometidas a un déficit hídrico de carácter crónico. El incremento observado en el periodo 1956-2003 es ligeramente inferior a un 1% del territorio andaluz, aunque en términos relativos, supone un incremento del 10 % de las áreas desertificadas.

Las provincias más afectadas por este aumento son Almería y Málaga (entre un 10 % y más del 2% de la superficie provincial respectivamente), que hacen llegar las tierras afectadas a más del 50% del territorio en el caso de Almería y a más de un 8 % en el caso de Málaga. En ambos casos el crecimiento se ha producido sobre áreas calificadas inicialmente como potenciales.

Las diferencias, en el resto del territorio no superan en ningún caso al 1% de las respectivas superficies provinciales, resultando poco significativos. Sí se detectan tendencias de afectación en Huelva y Sevilla con incrementos de superficies potencialmente afectadas en casi un 6% del total provincial.

En cualquier caso, la desertificación actual sólo tiene una alta significancia para el periodo 1956-2003 en las provincias de Almería, Granada y Málaga con una media de superficie provincial afectada que representa respectivamente el 52 %, 17% y 7%.

La evolución del clima modelizada en las proyecciones al 2040-2070 y 2100, si se confirmara, muestra una tendencia ascendente de los territorios afectados por los problemas de desertificación para toda Andalucía registrándose los mayores incrementos, en valor absoluto, en las provincias de Granada y Málaga donde se alcanzarían superficies de afectación superiores al 25 y 16,5 % del total provincial.

El resto de las provincias andaluzas registrarían incrementos relativos importantes, en algunos casos del 300 %, pero, en términos absolutos, no superaría al 4,5 % de afectación provincial en el caso más desfavorable.

Por otra parte, el análisis de la sensibilidad a la desertificación de las tierras de Andalucía (Figura 7) muestra el fuerte riesgo a que está sometida la región. En todas las situaciones, prácticamente el 100 % del territorio está englobado en la clase Frágil y sobre todo, en la Crítica (Tabla 2).

Destaca la reducción de las áreas críticas registrada en los escenarios 1999 y 2003 respecto a la situación de 1956, hecho en el que las políticas de protección sobre el medio establecidas por las autoridades ambientales tienen gran incidencia.

Pero esta mejoría se torna irrelevante con los cambios climáticos modelizados en las proyecciones 2040, 2070 y 2100. La fuerte presión climática hace que las áreas críticas avancen progresivamente hasta alcanzar a un 87 % del territorio andaluz, sólo manteniéndose en una situación de fragilidad los reductos de Cazorla, Grazalema, Alcornocales, Andujar y Despeñaperros.

Este aumento de la sensibilidad de los ecosistemas toma especial relevancia en todas las provincias occidentales y en Jaén, destacando Córdoba y Sevilla que llegan a alcanzar similares niveles de fragilidad que Granada y Almería.

La conjunción de ambos diagnósticos multitemporales en una única serie de mapas de Riesgos de Desertificación (Figura 8) sintetiza la incidencia de este fenómeno sobre las tierras de Andalucía en conjunción con la evolución de la presión que ejercen los distintos factores de riesgo observándose cómo las áreas desertificadas y potencialmente desertificables van avanzando por todo el sureste andaluz mientras todo el territorio se va viendo sometido a un progresivo aumento de los factores de riesgo (Tabla 3).

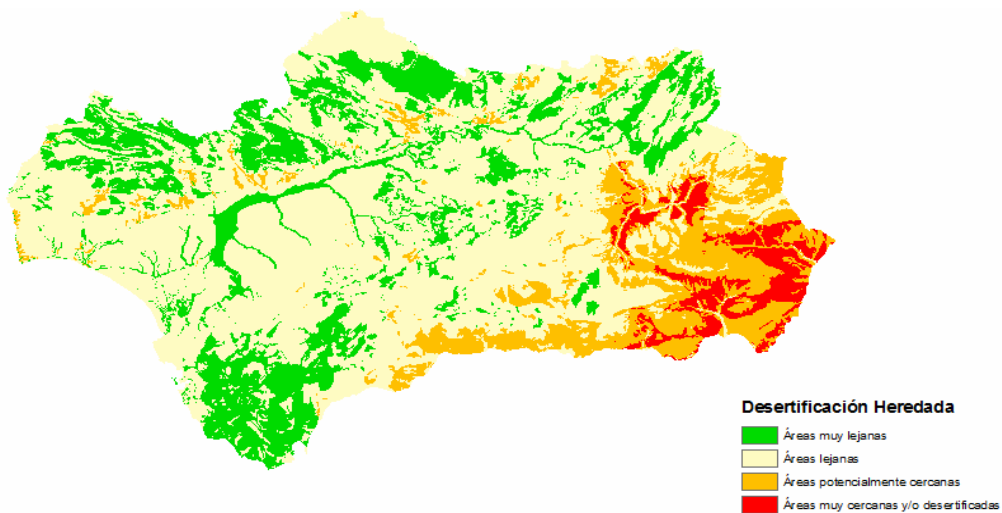


Figura 5. La Desertificación Heredada

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la degradación de las tierras, salvo en el caso de actuaciones puntuales especialmente agresivas, se produce de una manera gradual y progresiva a lo largo de periodos de tiempo prolongados, de tal manera que la percepción general del problema supera los cambios generacionales dificultando la toma de conciencia y la visión general del mismo.

Tan importante como el crecimiento de las áreas desertificadas se muestra el crecimiento de las áreas potencialmente desertificables como indicador de las zonas donde hay que concentrar las actuaciones correctoras, en las zonas de afección crónica como es Almería y Granada el crecimiento de las superficies desertificadas se produce a expensas de las áreas diagnosticadas como potencialmente desertificables.

Es destacable señalar cierto paralelismo encontrado en la evolución de la desertificación con la evolución de las zonas desérticas: a partir de un núcleo especialmente desertificado, estas se va expandiendo por las áreas fronterizas que sufren ciclos periódicos de afectación tal y como se puede observar en la serie de mapas de escenarios y proyecciones de los Riesgos de Desertificación (Figura 8).

La estrategia propuesta de seguimiento y proyección al futuro de los procesos de desertificación en el núcleo de la Red de Información Ambiental Andalucía mediante herramientas SIG se muestra, no solo como una eficaz herramienta de diagnóstico, sino como la garantía de seguimiento y delimitación de las áreas afectadas y que servirán para centrar los esfuerzos de prevención y mitigación que contemplan los distintos planes estratégicos que rigen las actuaciones de la Consejería de Medio Ambiente, especialmente del Plan Andaluz de Control de la Desertificación, actualmente en fase de borrador.

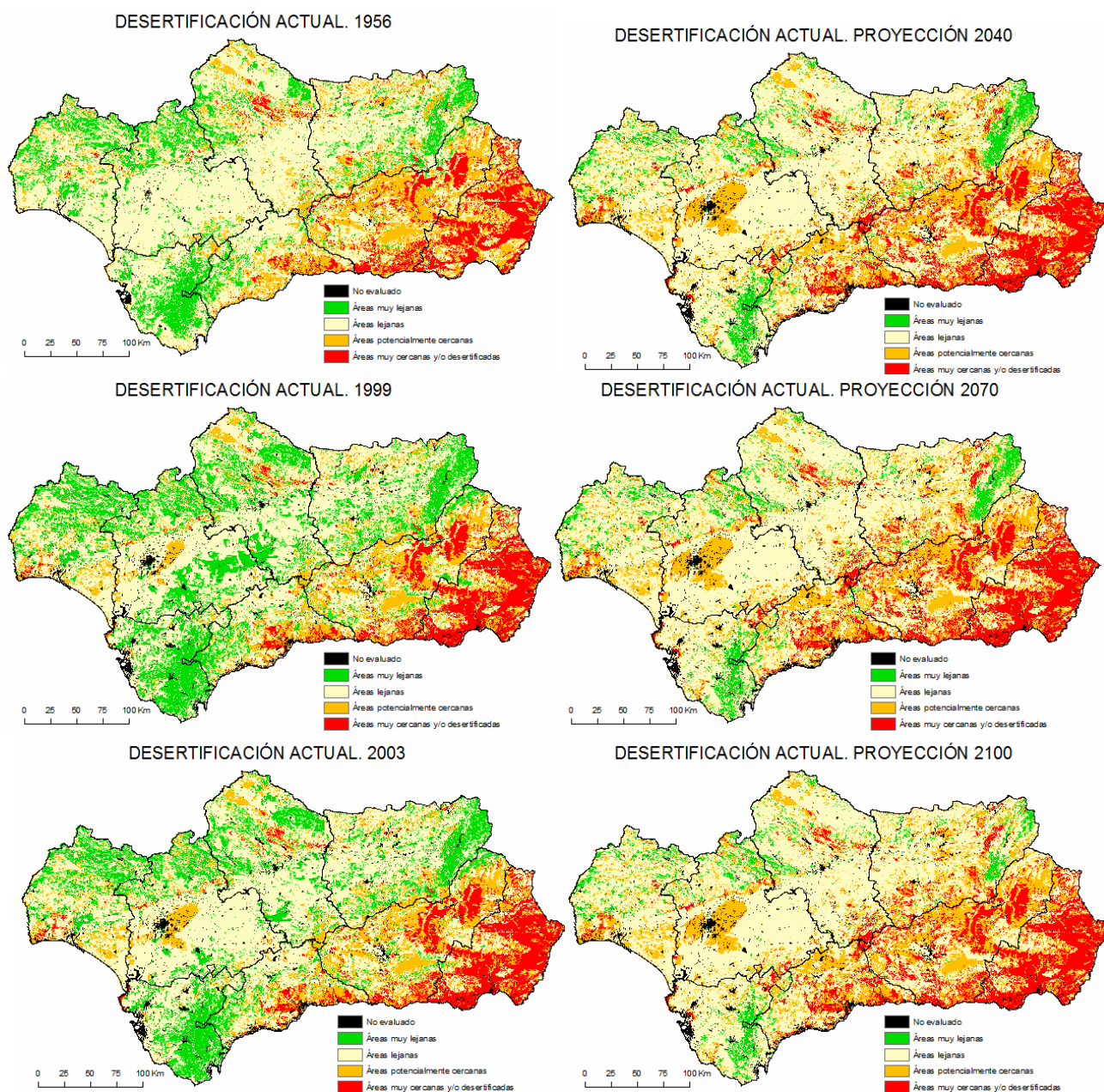


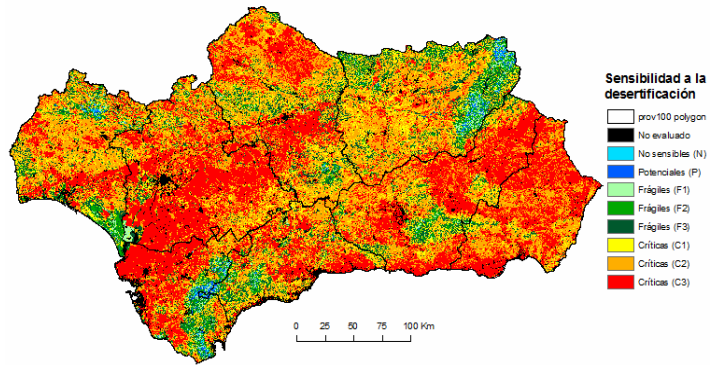
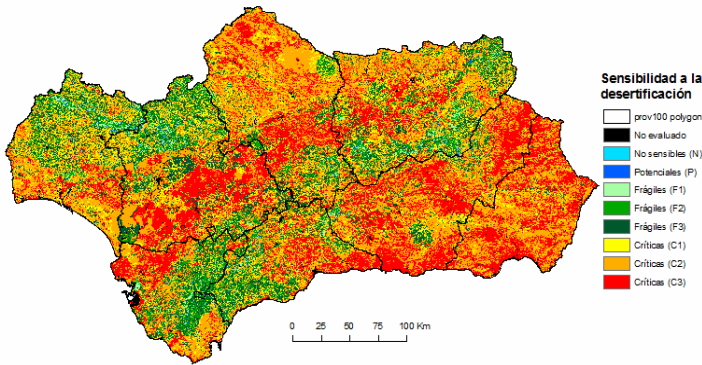
Figura 6. Evolución de la Desertificación Actual

Tabla 1. Evolución de las superficies afectadas por la Desertificación Actual (% sobre superficie regional)

ESCENARIO	1956	1999	2003	2040	2070	2100
No evaluado	0,95	2,84	3,09	3,09	3,09	3,09
Áreas muy lejanas	15,15	23,18	18,82	6,66	6,18	4,96
Áreas lejanas	57,89	50,17	52,48	56,19	56,46	57,28
Áreas potencialmente cercanas	17,40	14,88	16,04	21,17	21,25	21,35
Áreas muy cercanas y/ desertificadas	8,61	8,93	9,57	12,89	13,02	13,32

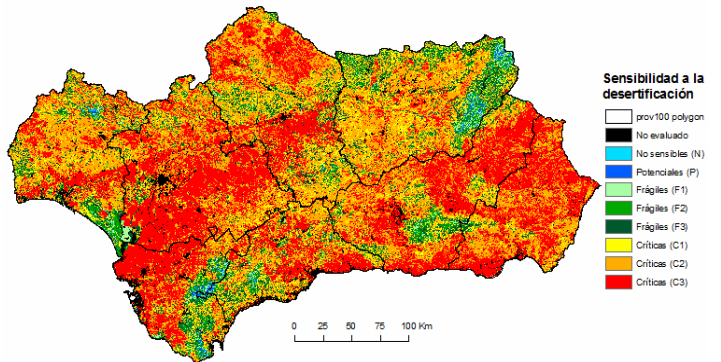
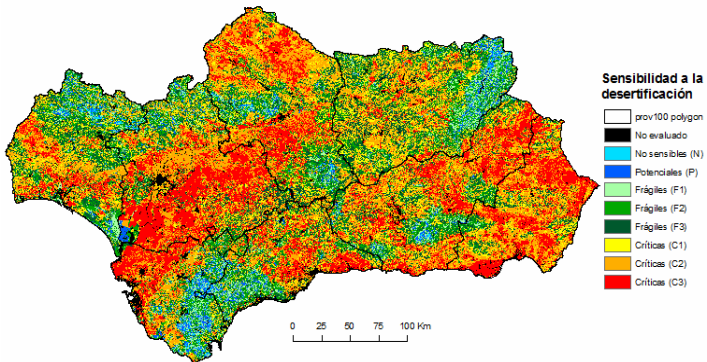
SENSIBILIDAD A LA DESERTIFICACIÓN (MEDALUS). Escenario 1956

SENSIBILIDAD A LA DESERTIFICACIÓN (MEDALUS). Proyección 2040



SENSIBILIDAD A LA DESERTIFICACIÓN (MEDALUS). Escenario 1999

SENSIBILIDAD A LA DESERTIFICACIÓN (MEDALUS). Proyección 2070



SENSIBILIDAD A LA DESERTIFICACIÓN (MEDALUS). Escenario 2003

SENSIBILIDAD A LA DESERTIFICACIÓN (MEDALUS). Proyección 2100

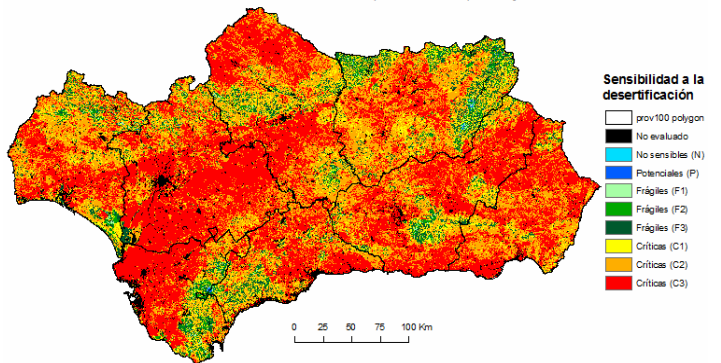
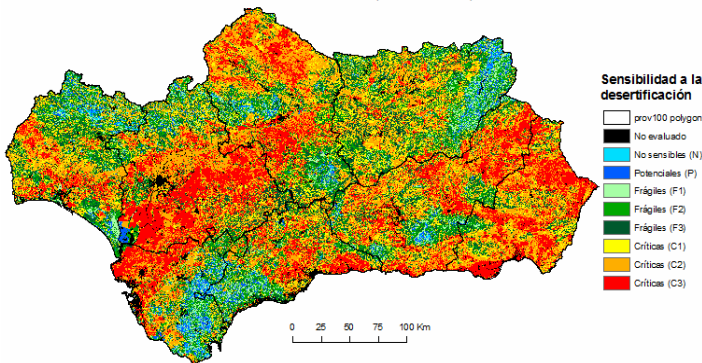


Figura 7. Evolución de la Sensibilidad a la Degradación-Desertificación

Tabla 2. Evolución de la Sensibilidad a la Degradación-Desertificación (% sobre superficie regional)

ESCENARIO	1956	1999	2003	2040	2070	2100
No evaluado	1,09	3,22	3,49	3,49	3,49	3,49
No sensibles	0,00	0,79	0,68	0,15	0,09	0,01
Potenciales	0,32	3,02	2,76	0,59	0,42	0,07
Frágiles	22,33	32,48	31,89	14,18	13,71	8,72
Críticas	76,26	60,49	61,18	81,59	82,29	87,71

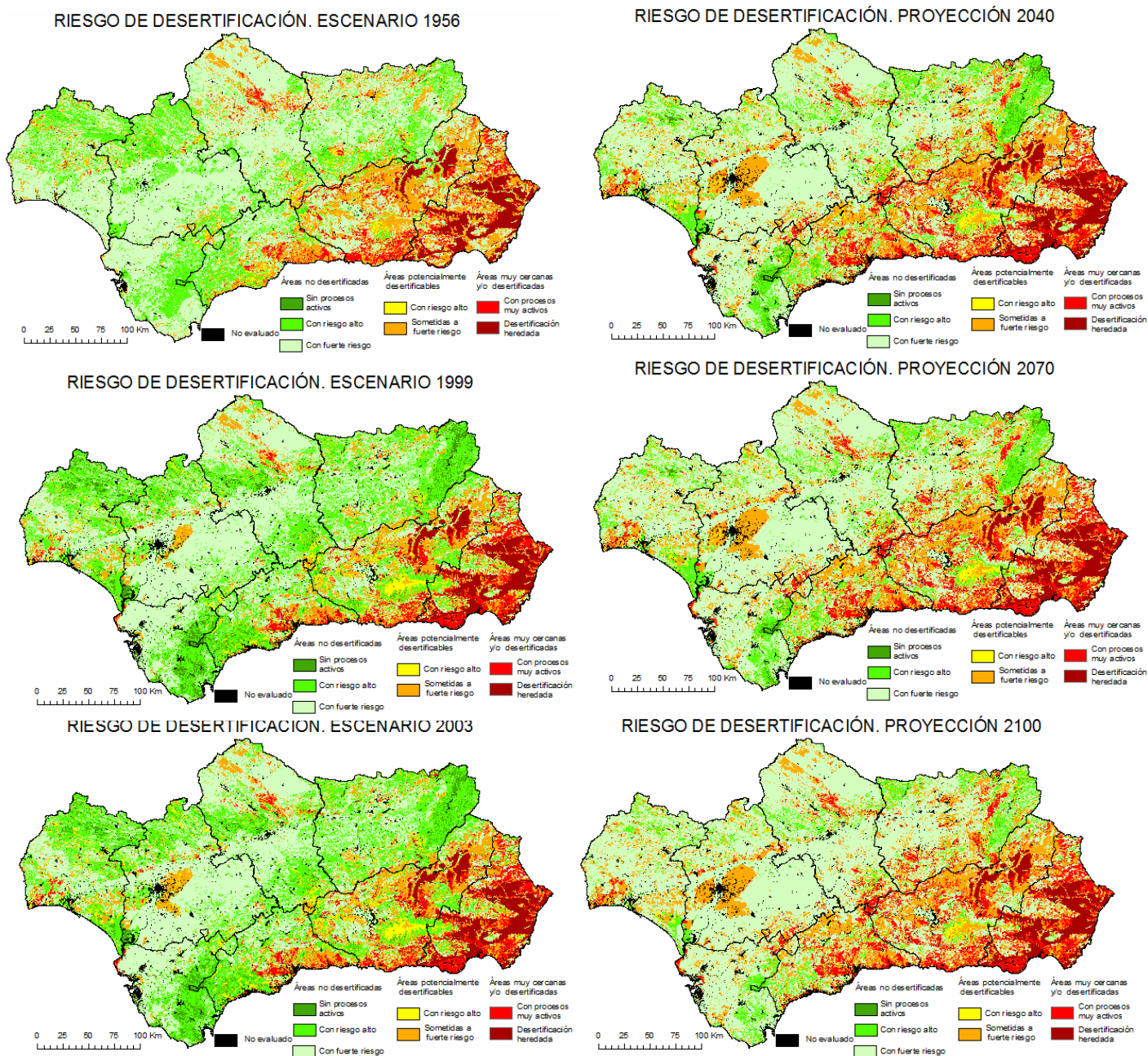


Figura 8. Evolución del Riesgo de Desertificación

Tabla 3. Evolución del Riesgo de Desertificación (% sobre superficie regional)

ESCENARIO		1956	1999	2003	2040	2070	2100
No evaluado	No evaluado	1,08	3,20	3,46	3,46	3,46	3,46
No desertificadas	Sin procesos activos	0,32	3,34	3,28	0,72	0,49	0,07
	Con riesgo alto	20,55	28,26	27,92	12,12	11,66	7,44
	Con fuerte riesgo	52,11	41,60	39,93	49,92	50,41	54,64
Potencialmente cercanas	Con riesgo alto	1,55	3,07	3,55	1,80	1,79	1,05
	Sometidas a fuerte riesgo	15,82	11,68	12,36	19,23	19,32	20,16
Muy cercanas y/o desertificadas	Con procesos muy activos	4,44	4,72	5,34	8,60	8,73	9,03
	Heredada	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14

BILIOGRAFÍA

Empresa Nacional Adaro (1983): *Estudio del Equilibrio Erosivo en Andalucía*, sin publicar.

Fernández-Palacios, A.; Castilla, E.; Zamorano, L.; Jurado J.; Ruiz, L.; Frieyro, E.; Moreira, J. M. (2005): Mapa de Usos y Coberturas Vegetales. En: *Atlas de Andalucía. Tomo II*.

IGME (1988). *El Agua en Andalucía*.

IGME (1998): *Atlas Hidrogeológico de Andalucía*.

López Bermúdez, F. (2001): *El riesgo de desertificación, Agricultura y Desertificación*, Ed. Mundi-Prensa.

UNCCD (1994): Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación.

IARA-CSIC (1989): *Mapa de Suelos de Andalucía*.

Kosmas, C. et al. (1999): *Manual on key indicators of desertification*. The MEDALUS project. European Commission, Brusseles.

Moreira, J. M. y Rodríguez, M. (2005): Mapa de Capacidad de Uso y Erosión Edáfica. En: *Atlas de Andalucía. Tomo II*.

Moreira, J. M. y Rodríguez, M. (2005): Mapa Geomorfológico de Andalucía. En: *Atlas de Andalucía. Tomo II*.

Moreira, J.M., Rodríguez, M. y Zamorano, M.D. (2005): Diagnóstico de la Desertificación en Andalucía, En: *XI Congreso de Teledetección*.

Moreira, J. M.; Gámez, M.; Caturla, C.; Frieyro, E.; Márquez, M.; Solis, J.M.; Santana, J.M. (2007): *Guía Técnica del Mapa de Usos y Coberturas Vegetales 1/25.000*.

Quijada, F.J., Delgado, J.M., Bonet, F.J. y Moreira, J.M. (2005): Mapa de Biodiversidad. En: *Atlas de Andalucía. Tomo II*.

Rivas-Martínez, S. (1987): *Mapa de Series de Vegetación de España*, ICONA.

Romero Martín, L.; Máyer Suárez, P.; Hernández-Cordero, A.I. y Ruiz Flaño, P (2008): Análisis de la distribución espacial de la isla de calor urbana en Las Palmas de Gran Canaria mediante el uso de sistemas de información geográfica. Resultados preliminares. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 752-765. ISBN: 978-84-96971-53-0.

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA ISLA DE CALOR URBANA EN LAS PALMAS DE GRAN CANARIA MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. RESULTADOS PRELIMINARES

Romero Martín, L.¹; Máyer Suárez, P.¹; Hernández-Cordero, A.I.¹ y Ruiz Flaño, P.²

(1) Grupo de Geografía Física y Medio Ambiente. Departamento de Geografía. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. C/ Pérez del Toro, 1 (35003) Las Palmas de Gran Canaria. lromero@dgeo.ulpgc.es

(2) Departamento de Geografía. Universidad de Valladolid. Paseo Prado de la Magdalena, s/n, (47011) Valladolid. puriruiz@fyl.uva.es

RESUMEN

En este trabajo se analizan las temperaturas nocturnas de la Ciudad Baja de Las Palmas de Gran Canaria. La información se obtuvo a partir de los registros de once sensores Hobo ubicados en cada una de las unidades homogéneas identificadas en ese sector de la ciudad. Se analiza la distribución espacial, la variabilidad temporal y la intensidad de la "isla de calor" al tiempo que se establece el grado de relación entre las características del espacio edificado y las actividades que en él se desarrollan. La metodología se basa en el análisis estadístico de los registros térmicos y en el análisis espacial de los mismos y de las variables que inciden en sus valores mediante Sistemas de Información Geográfica. Las variables consideradas son: la densidad edificatoria, la altura de las edificaciones, la densidad de tráfico y la distancia al mar. Los resultados indican valores moderados de la intensidad de la isla de calor que presenta dos focos (Puerto-Santa Catalina y Arenales) y que son la densidad y la altura de las edificaciones las variables que más significativamente inciden sobre las temperaturas nocturnas urbanas.

Palabras Clave: Islas Canarias, clima urbano, interpolación, ortofoto digital, SIG.

ABSTRACT

This paper analyses the night temperatures in the "Ciudad Baja" of Las Palmas de Gran Canaria. The information was obtained from records of eleven Hobo sensors located in each of the homogeneous units identified in this sector of the city. We analyze the spatial distribution, the temporal variability and intensity of the "heat island" while setting up the degree of relationship between the characteristics of the built up area and the activities it develops. The methodology is based on statistical analysis of records in thermal and spatial analysis of the same and the variables that affect its values through Geographic Information Systems. The variables are considered: Building density, the height of buildings, traffic density and distance to the sea. The results indicate moderate values of the intensity of the heat island that has two foci (Puerto-Santa Catalina and Arenales) and are the density and height of buildings more variables that significantly affect the urban night temperatures.

Key Words: Canary Islands, urban climate, interpolation, digital orthophoto, GIS.

INTRODUCCIÓN

Las distintas actividades desarrolladas por los habitantes de las ciudades (tráfico, industrias, calefacciones, etc.), sus características geográficas (altitud, cercanía al mar, proximidad de ríos) y la propia estructura urbana (alternancia de calles de diferente anchura y manzanas de edificios) (Fernández et al., 2004) provocan la modificación de la composición del aire urbano, de las características climáticas regionales y de la superficie natural preexistente. Todo ello se hace más evidente durante determinados tipos de tiempo. Estos factores actúan sobre el balance de radiación reduciendo la entrada de radiación solar directa sobre el espacio urbano e impidiendo la

salida de buena parte de la radiación terrestre al exterior. Además, el espacio construido interfiere igualmente en dicho balance debido al desigual comportamiento higrométrico de sus materiales (asfalto, piedra, ladrillo, cemento, etc.) y al incremento de la rugosidad con respecto al régimen de vientos (Albero y Calvo, 1981).

El fenómeno más relevante, aunque no el único, es el denominado “isla de calor” que consiste en el retraso del calentamiento diurno y del enfriamiento nocturno de la atmósfera urbana con respecto a los espacios circundantes (Oke, 1987). El origen de este fenómeno térmico se encuentra en el menor consumo de calor, debido a la reducción de la evaporación, a la menor pérdida de calor por las múltiples reflexiones de la radiación en las calles y en los edificios, la elevada capacidad calorífica de los materiales de construcción y el calor generado por las actividades humanas. Las máximas diferencias térmicas entre la ciudad y los espacios circundantes se producen durante la noche y suelen localizarse en los sectores urbanos más densamente edificados, donde, además, la densidad del tráfico es mayor y la estrechez de las calles suele ser más acusada y, por tanto, son las que están peor ventiladas (Langdsberg, 1981). Sin embargo, en el interior de las ciudades también existen zonas de frescor situadas en parques y jardines urbanos, o en zonas donde prevalecen amplios espacios abiertos y con edificaciones más o menos aisladas.

Por otro lado, esos valores térmicos de la isla de calor urbana no han permanecido constantes a lo largo de los últimos años pues en muchas ciudades del mundo se ha podido constatar el incremento en valores iguales o superiores a los 2,5°C en los últimos cincuenta o cien años (Lomborg, 2008). Por lo tanto, según este autor es probable que para muchas ciudades, los incrementos de islas de calor urbano acaecidos en el siglo XX estén en una escala superior a los que se producirán por causa del calentamiento global en el siglo XXI. Por ello es de destacar que el impacto del calentamiento global sobre las ciudades será considerablemente peor, ya que se enfrentan a un problema doble pues la temperatura aumenta tanto por el CO₂ como por el crecimiento continuo de las islas de calor urbano. El incremento de la isla de calor urbana previsto se puede frenar con soluciones económicas. Se trataría de incrementar el frescor urbano mediante la modificación de los tejados, el pavimentado en colores más claros y, finalmente, la plantación de árboles. Se trata de soluciones baratas y altamente eficaces pues se reduciría el consumo energético en aire acondicionado y la emisión de contaminantes, amén de aumentar el confort térmico urbano y la calidad de vida de sus habitantes.

ZONA DE ESTUDIO

Las Palmas de Gran Canaria, capital de la isla de Gran Canaria, es una ciudad litoral que ha experimentado un crecimiento espectacular en las últimas décadas. Es el municipio con más superficie urbanizada de todo el Archipiélago, con 11 Km² en el año 2002. En este estudio se ha seleccionado parte del casco urbano consolidado en la década de los 80 del siglo veinte. Presenta una superficie de 5,3 Km², se extiende sobre las suaves pendientes de la plataforma costera y es conocida como Ciudad Baja. En ella se asienta, desde la conquista, el núcleo fundacional de la ciudad y tiene lugar el posterior crecimiento y colmatación actual de la misma y coexisten el uso residencial con el administrativo, el económico, el deportivo, el recreativo y el comercial. La morfología urbana de este sector de la ciudad se caracteriza por el predominio de la trama cerrada, en la que las manzanas se encuentran totalmente ocupadas por viviendas medianeras.

La localización de Las Palmas de Gran Canaria en el norte insular (figura 1), bajo la influencia constante de los vientos alisios, junto a su condición de ciudad costera y su baja altitud, son los factores que determinan sus principales características climáticas. La temperatura media anual es de 21° C (tabla 1), con una amplitud térmica anual de 6° C. Las temperaturas más elevadas se registran en septiembre (24,3° C) y las más bajas en enero y febrero (18,4° C). Las precipitaciones apenas alcanzan 112 mm de media anual y suelen producirse en pocos días al año (22 días, en promedio). La humedad relativa media anual del aire es del 73%.

Se trata de una ciudad bien aireada aunque el porcentaje de días de calma al año no es nada despreciable (22% promedio anual) (tabla 1). Los vientos dominantes son del primer cuadrante (los alisios) con una frecuencia del 51%, seguido de los del cuarto cuadrante con el 18 % de la misma. El mes más ventoso es julio (sólo 8% de calmas) y el que menos, octubre con el 36% de sus días en calma.

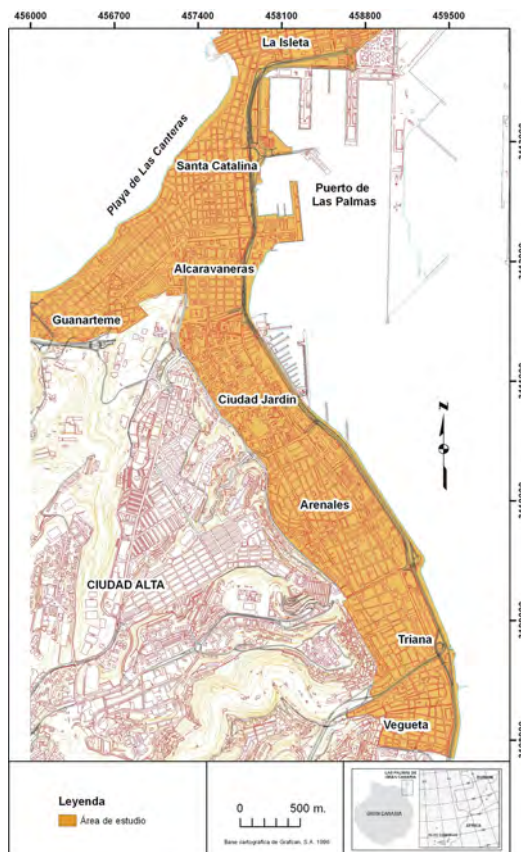


Figura. 1. Localización del área de estudio

Tabla 1. Valores medios y absolutos de algunos elementos climáticos (Puerto de la Luz y de Las Palmas 1961-1990). Fuente: Instituto Nacional de Meteorología (Ministerio de Medio Ambiente).

Meses	T°C	Pmm	H %	Vientos (% por cuadrantes)				Calmas (%)	Días Despejados
				1°	2°	3°	4°		
Enero	18,4	15,4	72	39	20	3	10	28	3,1
Febrero	18,4	20,3	73	41	14	3	12	29	2,8
Marzo	18,9	10,8	70	59	5	2	13	21	2,7
Abril	19,3	6,1	69	54	7	1	19	17	1,4
Mayo	20,3	3,3	71	72	1	0	18	10	1,1
Junio	21,7	1,0	72	67	2	0	35	10	0,9
Julio	22,8	0,1	76	60	1	0	32	8	1,5
Agosto	24	0,2	76	60	2	0	26	13	2,1
Septiembre	24,3	4,9	76	50	4	0	20	28	2,0
Octubre	23,4	8,6	75	46	8	0	9	36	2,4
Noviembre	21,1	20,4	73	42	15	3	8	33	2,4
Diciembre	19,5	20,8	72	34	17	6	11	30	3,7
Año	21,0	111,9	73	51	9	1	18	22	26,1

Tal y como se muestra en la tabla 1, el número de días despejados al año es sumamente reducido (26,1 días) lo que representa apenas el 7,1%. Esto último se relaciona directamente con el valor de insolación, pues como promedio anual la ciudad recibe algo menos de la mitad de la radiación que le corresponde por su latitud

(radiación teórica) y ello se debe a la interferencia casi constante de la nubosidad. Ese valor experimenta variaciones a lo largo del año, siendo mayor esa pérdida efectiva de insolación en verano (julio con el 33,9% y junio con el 39,3%) y mínima en los meses del otoño (septiembre, octubre y noviembre, con 51,3%, 54,1 y el 50% respectivamente).

Por otro lado, conviene indicar, por su relevancia en la emisión de gases efecto invernadero, que el parque de vehículos en 2003, según el ISTAC, se eleva a 225.720 y que la intensidad media diaria de tráfico en el conjunto de la ciudad, según los datos del Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria es de casi 15.000 vehículos. Esos valores ocultan los considerables picos de densidad de tráfico que afectan a determinadas vías, entre las que destacamos las que recorren Ciudad Baja por su perímetro costero oriental (la avenida Marítima) y las vías transversales que, aprovechando los cauces de los barrancos, comunican Ciudad Baja con Ciudad Alta.

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objetivo general de este trabajo es conocer las modificaciones impuestas al comportamiento térmico de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria por su espacio edificado y por las distintas actividades desarrolladas por sus habitantes. Los objetivos específicos que se plantean para su consecución son los siguientes:

Identificar el fenómeno térmico de la isla de calor y sus características básicas: localización, intensidad y variabilidad temporal (mensual).

Analizar su distribución espacial y establecer de forma preliminar la relación que existe entre la isla de calor y las características del espacio edificado (morfología, estructura urbana y densidad edificatoria), y las actividades que en él se desarrollan (densidad de tráfico).

Los datos de temperatura se han obtenido a partir de los registros automáticos horarios de 11 sensores del tipo *Hobo Pro Series* instalados por distintos sectores de la ciudad baja (figura 2). El criterio de selección del emplazamiento de cada uno de ellos parte de la identificación y la cartografía previa de unidades homogéneas urbanas en la que se tuvieron en cuenta la tipología urbanística, la altura de las edificaciones, la intensidad del tráfico y los usos, tal y como se había realizado en trabajos anteriores desarrollados en esta ciudad (Hernández *et al*, 2002 y Romero *et al*, 2006) y en otras (Ridd, 1992 y Fernández *et al*, 1994).

Tras detectar y solventar una serie de problemas derivados del emplazamiento de los sensores que mostraban claras anomalías térmicas, se obtuvo una serie horaria que se inicia en julio y finaliza en noviembre de 2007. Se realizó un análisis estadístico consistente en el cálculo de los promedios horarios, diarios y mensuales, así como en el de las variaciones existentes entre los valores obtenidos en los distintos puntos.

El análisis espacial de las temperaturas urbanas, de las variables concernientes a la morfología (densidad edificatoria, altura de las edificaciones) y su relación con algunas características geográficas (la distancia al mar) se realizó mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), en particular con el ArcGis 9.1. Este programa permite el análisis de la información geográfica tanto en formato vectorial como *raster*, lo que constituye una importante ventaja debido a que se pueden integrar y combinar ambos modelos de datos.

Los datos de temperatura registrados de forma puntual por los sensores se han interpolado en el SIG para obtener una superficie continua de las temperaturas urbanas. El procedimiento de interpolación seleccionado fue el método *Spline*, el cual consiste en la aplicación de una mínima curvatura que da lugar a una superficie suavizada que pasa exactamente por los datos iniciales. La interpolación se ha basado en los siguientes parámetros:

Tamaño de celdilla 1 m x 1 m

Tipo de *Spline*: *tension*

Número de puntos utilizados para la interpolación: 3

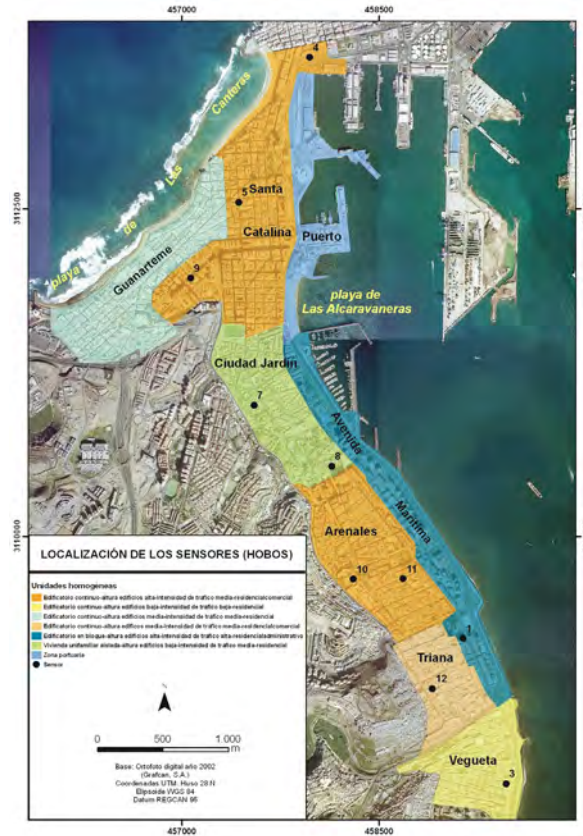


Figura 2. Localización de los sensores y las unidades homogéneas en la Ciudad Baja de Las Palmas de Gran Canaria

Mediante este método se realizaron los siguientes mapas térmicos: el de isotermas medias diarias de los seis meses de análisis (julio-noviembre), el de isotermas medias del mismo período pero referido, en este caso a la franja horaria comprendida entre las 22:00 y 6:00 horas y los de isotermas medias mensuales entre las 22.00 y 6:00 horas. La selección de ese intervalo horario responde a la idea, extendida entre la comunidad científica, de preferente localización del fenómeno térmico de la isla de calor urbana durante la noche.

Por otro lado, el análisis de la densidad edificatoria se realizó utilizando como documento base la cartografía digital (formato CAD) proporcionada por el Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria. A partir de ella se digitalizaron las manzanas y las edificaciones existentes en los distintos barrios. Para cada una de ellas se calculó la superficie que ocupan, de manera que la densidad edificatoria se obtuvo de la siguiente forma:

$$DE = SE/SM$$

Donde, DE = Densidad edificatoria; SE = Superficie de las edificaciones; SM = Superficie de la manzana

Los resultados obtenidos indican que, cuanto más se aproxime el valor a la unidad, mayor es la densidad edificatoria.

Con la misma base cartográfica y, a partir de la información aportada sobre la altura de las edificaciones, se calculó el promedio de plantas en cada manzana (altura de las edificaciones entre número de edificaciones), resultando un mapa de intervalos de alturas edificatorias.

Por otro lado, la condición de ciudad costera, con frente litoral de 43,26 km (ISTAC, 2007), junto con la reducida amplitud altimétrica de la Ciudad Baja (apenas 50 m desde la costa hasta la base del paleoacantilado que limita nuestra área de estudio hacia poniente) condujo a la idea de que la proximidad de cada una de las manzanas edificadas a la línea de costa podía ser, *a priori*, un factor de carácter geográfico de cierta importancia

en el mapa térmico de esta ciudad. Así pues, se elaboró un mapa de distancias a la línea de costa, para el cual se extrajo la capa de la línea de costa de la cartografía oficial de la Comunidad Autónoma de Canarias (Grafcan, SA) y, mediante el SIG, se realizó un *buffer* cada 100 m.

La distribución espacial de la densidad del tráfico se realizó a partir de los datos de aforo horario de 23 puntos de control de tráfico que el Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria tiene distribuidos por Ciudad Baja cuyo intervalo temporal se extiende desde el 1 de septiembre de 2006 hasta el 30 de septiembre de 2007. Sobre la misma base cartográfica se localizaron los puntos de control de tráfico a los que se le asignó un rango dentro de unos cinco intervalos en los que se representa el promedio diario de vehículos.

Finalmente, el mapa de los valores térmicos y el de las variables que se han considerado como potencialmente desencadenantes del fenómeno de “isla de calor” se han comparado mediante un análisis espacial simple. En definitiva, se han superpuesto el mapa de isotermas y el de cada variable en el SIG y se han comparado de forma visual sin la generación de nueva información espacial.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos del análisis del comportamiento térmico de nuestra zona de estudio indican que las temperaturas medias del periodo analizado manifiestan la existencia de dos focos cálidos en la Ciudad Baja de Las Palmas de Gran Canaria (figura 3). Uno se localiza en los alrededores de los barrios del Puerto y Santa Catalina, en el norte de la ciudad, y el otro en el de Arenales, zona centro-sur. Asimismo, existen dos zonas de frescor, situadas a ambos extremos del área de estudio. Una abarca el barrio de Guanarteme en el noroeste y la otra circunscrita a la zona litoral del barrio de Triana, en el sur de la ciudad.

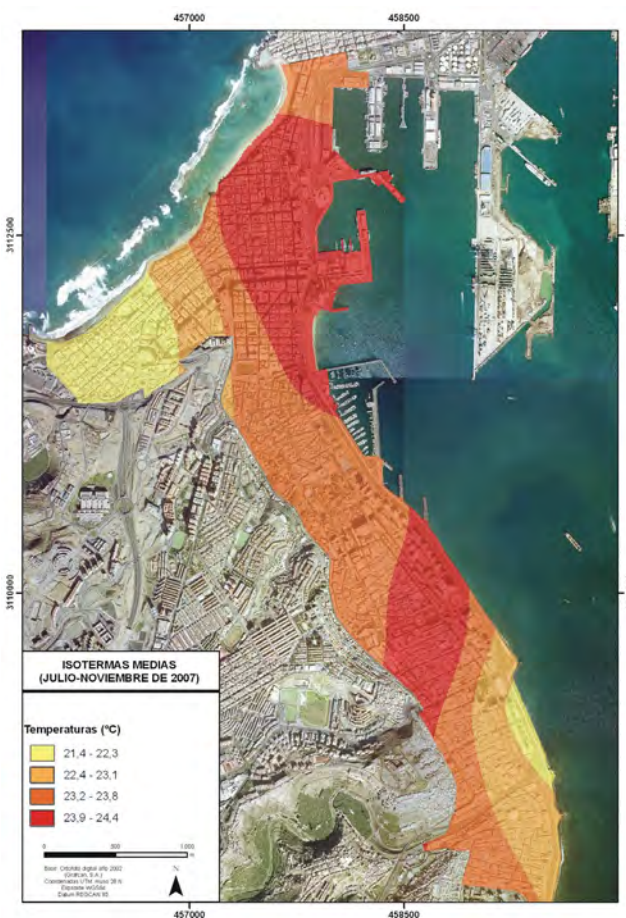


Figura 3. Temperaturas medias del periodo de estudio

Además, se observa la existencia de un gradiente térmico claro entre la costa y el interior en la zona de Vegueta-Triana que no se detecta en ningún otro sector de la Ciudad Baja. Asimismo, las diferencias de temperatura entre las zonas más cálidas y más frescas son de 3° C. Existe un amplio sector en el que las temperaturas presentan valores moderados (entre 23,2°C y 23,8°C) que se corresponde con el norte del barrio de Arenales, Ciudad Jardín y se prolonga, mediante una estrecha franja, hasta la playa de Las Canteras atravesando una parte de playa de Las Alcaravaneras. El análisis de la cartografía de las temperaturas nocturnas, la de isla de calor, confirma la existencia de dos focos cálidos en las mismas áreas (figura 4). Asimismo, las zonas más frescas coinciden, a grandes rasgos, con las señaladas anteriormente, a la que se incorpora una nueva zona relativamente más fresca ubicada en el límite meridional de Ciudad Jardín.

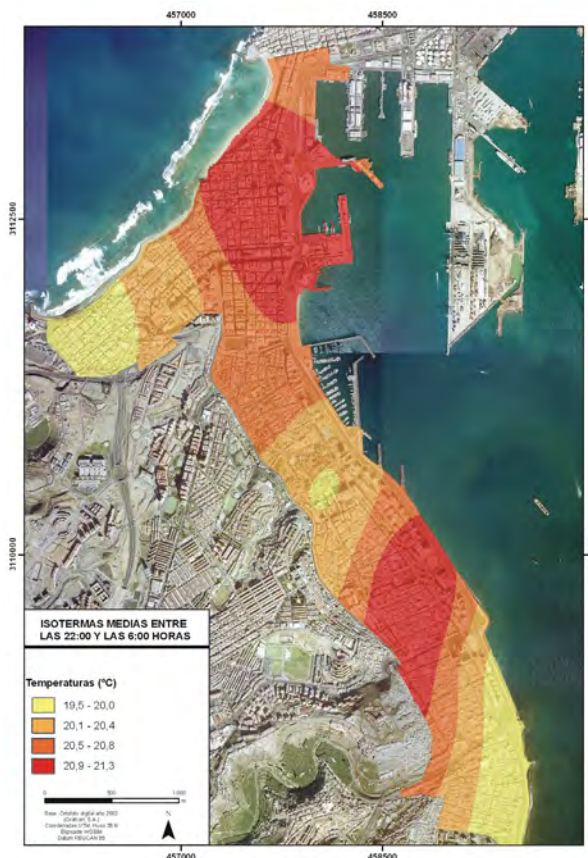


Figura 4. Temperaturas medias entre las 22:00 y las 6:00 horas (julio-noviembre de 2007)

Con respecto a las diferencias térmicas entre los valores máximos y los mínimos es significativamente menor a las registradas por las medias para toda la franja horaria, calculada en 1,8° C. La variación mensual de las temperaturas nocturnas (figura 5) muestra la permanencia de los focos cálidos en los mismos lugares, excepto en el mes de octubre donde se produce la desaparición del situado en el Puerto-Santa Catalina pero, como sector con unas temperaturas medias más elevadas, permanece el existente en Arenales. No obstante, habría que matizar que las áreas con mayores registros térmicos presentan una mayor extensión en el mes de agosto. Sin embargo, en el mes de julio las diferencias entre los sectores cálidos y sus alrededores no son tan acusadas. Por el contrario, las zonas más frescas permanecen prácticamente invariables durante todos los meses, excepto en julio donde el existente en el litoral Vegueta-Triana no tiene registros tan bajos.

El análisis de los valores de las temperaturas medias nocturnas (22 a 6 horas) en cada uno de los meses analizados revela pequeños matices en el mapa térmico urbano. El rango de intensidad de la isla térmica urbana es moderada y muestra un máximo en los meses de agosto y septiembre, con 2,3° C de diferencia entre el punto más cálido y el más fresco. En cambio se constata su debilitamiento en el último mes analizado, con apenas una débil diferencia de 1,7° C.

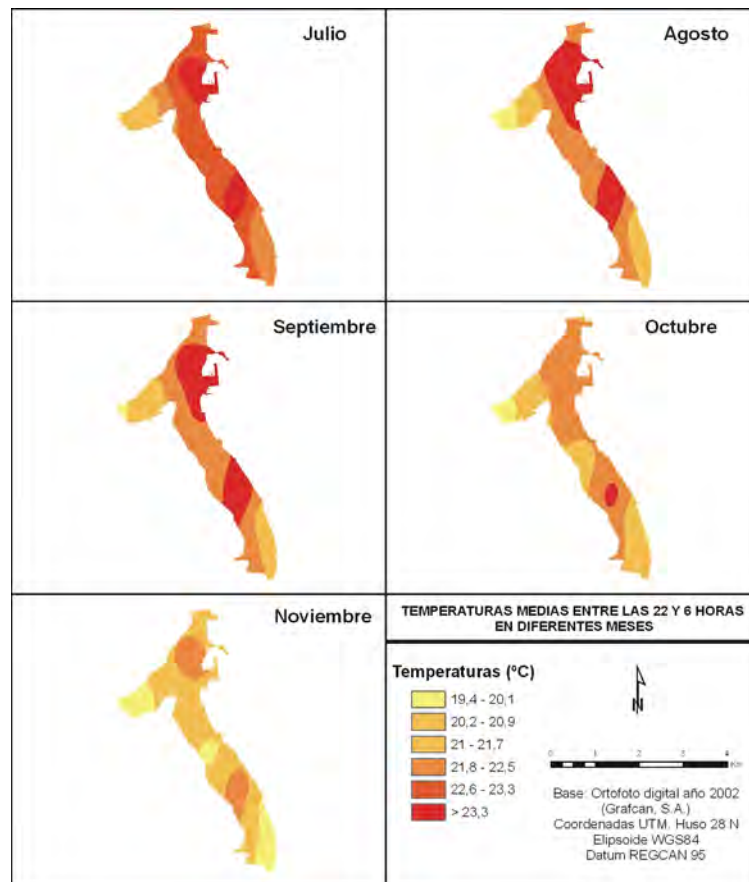


Figura 5. Variaciones mensuales de las temperaturas nocturnas en la Ciudad Baja (julio-noviembre de 2007)

En lo que se refiere a la densidad edificatoria, la ocupación de la edificación en cada manzana posee valores muy elevados, comprendidos entre el 80% y el 100%. Dicho valor desciende significativamente en el caso del barrio denominado Ciudad Jardín en el que la densidad edificatoria oscila entre un 16% y un 54%. Sólo en aquellos casos en los que determinadas manzanas se encuentran libres de edificación, como los parques y jardines, la densidad edificatoria es muy baja (figura 6).

Las manzanas se utilizaron como unidad mínima para calcular la altura de las edificaciones, excepto en Ciudad Jardín, donde se delimitaron las edificaciones existentes. Ello es debido a las peculiares características de su morfología urbana, donde las parcelas no están completamente ocupadas por edificaciones (como sucede en la mayoría de las parcelas de la Ciudad Baja), sino que éstas se combinan con espacios libres más o menos amplios, que normalmente coinciden con espacios verdes.

La altura media de las edificaciones en cada uno de los barrios analizados muestra una significativa heterogeneidad (figura 7). Así, los barrios con una mayor altura son El Puerto, Las Canteras, Alcaravaneras (sobre todo el sector más próximo a la Base Naval y a Mesa y López) y la Avenida Marítima, con una altura media de las edificaciones de 4,5-16 plantas. Por el contrario, las edificaciones de menor altura se concentran en Vegueta, Fincas Unidas, Guanarteme y, sobre todo, Ciudad Jardín, donde apenas se superan las 2 plantas. Como sectores intermedios destacan Triana, Arenales y Santa Catalina.

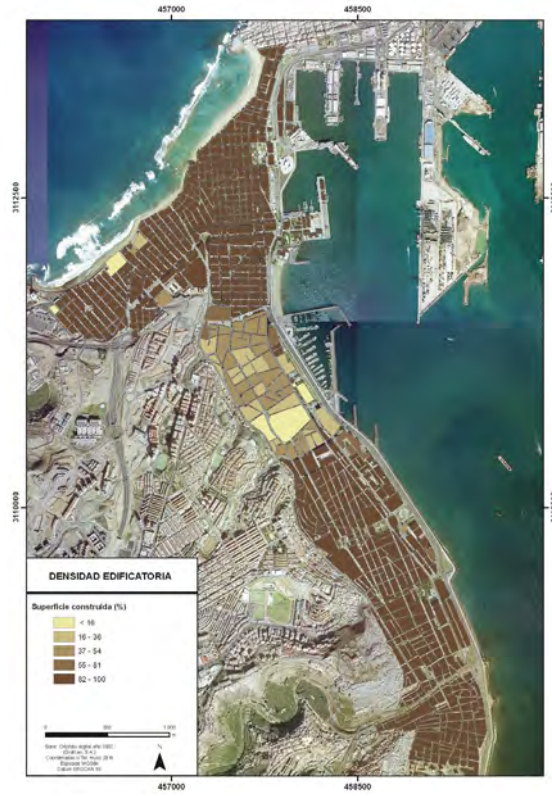


Figura 6. Densidad edificatoria de la Ciudad Baja

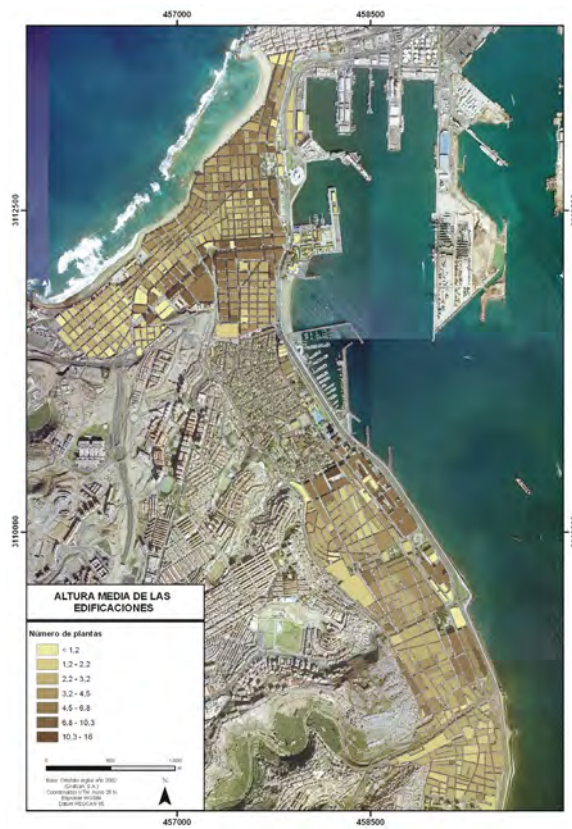


Figura 7. Altura media de las edificaciones de la Ciudad Baja

La modelización espacial de la densidad del tráfico no pudo realizarse mediante métodos de interpolación debido a que los puntos de control no se encuentran bien distribuidas a lo largo de la ciudad, sino que se concentran en determinadas vías. Tal como se observa en la figura 8, las seis áreas que concentran el mayor número de aforos son las siguientes: entre el Puerto y Santa Catalina (como por ejemplo 101, 211 y 214 -Mesa y López, 100-Néstor de la Torre, 109-Fernando Guanarteme), sector sur de las Alcaravaneras (711, 801, 802 y 803- Accesos y salidas de los túneles de Julio Luengo y 800-León y Castillo), límite entre Ciudad Jardín y Arenales (118 y 123-Avenida Juan XXIII), límite entre Arenales y Triana (11, 12, 708, 709 y 710-Bravo Murillo y 16-Viera y Clavijo), además de los puntos aislados situados en el sector sur del área de estudio (27 y 28-Avenida Marítima y 25-Guiniguada).

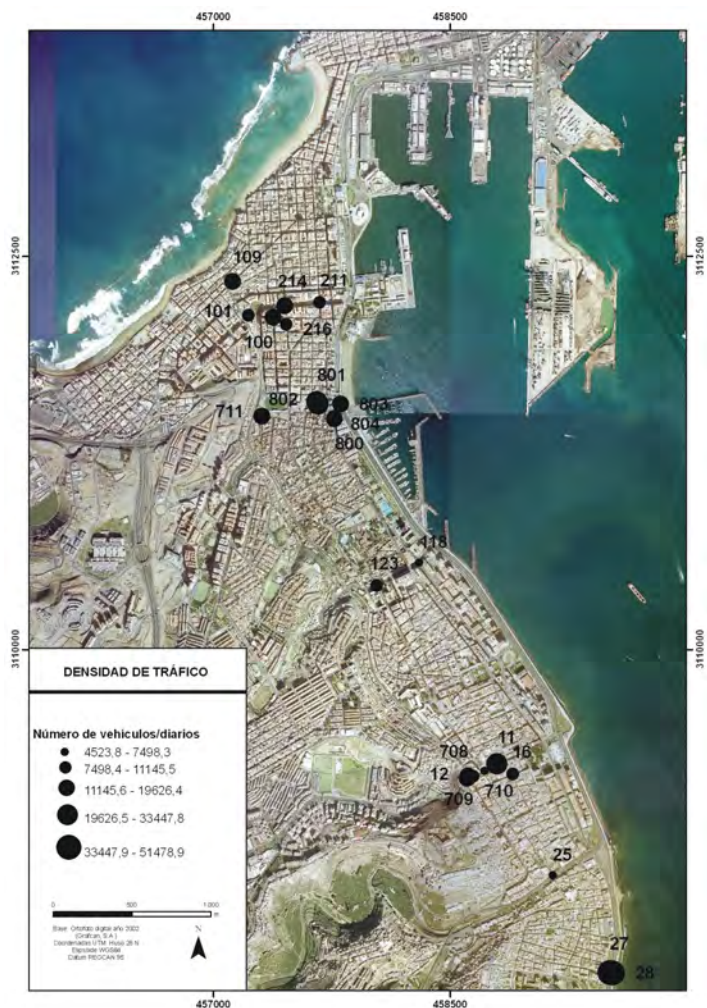


Figura 8. Densidad de tráfico de la Ciudad Baja

Los mayores valores de densidad de tráfico media se concentran en el sector sur de Alcaravaneras, el límite entre Arenales y Triana y la Autovía Marítima.

Con respecto a la influencia del mar debido a su situación litoral, la totalidad del área de estudio presenta una escasa distancia a la costa, siendo los máximos de 900 metros (figura 9). Por lo tanto, es de prever que la influencia marítima sea significativa para el conjunto de la Ciudad Baja, contribuyendo a suavizar los valores térmicos y a incrementar los de la humedad relativa.

La comparación de la capa correspondiente a las temperaturas y las de las variables consideradas muestran que la localización de las zonas más cálidas de la ciudad, tanto en el intervalo diario como en la franja horaria nocturna, parece que muestra una relación positiva con la densidad edificatoria y, sobre todo, con la altura de las

edificaciones. Por su parte, las zonas más frescas están relacionadas con aquellos sectores cercanos al mar que poseen una menor altura de las edificaciones. En este sentido, Ciudad Jardín posee unos valores de temperaturas menos cálidas que las zonas adyacentes, caracterizadas por una densidad y una altura de las edificaciones más elevada. Por su parte, la distancia al mar no parece ser un factor determinante en el reparto térmico, pues determinados barrios, o partes de éstos más cercanos a la costa, poseen temperaturas más elevadas que otros que se encuentran en la misma situación pero localizados en otros puntos de la ciudad. En cuanto al tráfico, la imposibilidad de generar un modelo de datos continuo restringe el análisis de esta variable. Sin embargo, se puede observar que aquellas zonas donde la densidad de tráfico es mayor coinciden a grandes rasgos con las de temperaturas más elevadas. Por lo tanto, la morfología urbana parece tener un significativo peso en la distribución de los valores térmicos. Las otras variables poseen su importancia pero siempre están condicionadas por la altura y densidad edificatoria. En definitiva, la explicación de la intensidad y localización espacial de la temperatura y la humedad responde a la combinación de diferentes variables aún por determinar con mayor precisión en nuestra área de estudio.



Figura 9. Distancia a la costa en la Ciudad Baja

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La metodología empleada, donde se combina el análisis estadístico y el espacial mediante un SIG, permite comprender mejor el comportamiento de una variable climática definitoria del clima urbano como es la tempe-

ratura y, especialmente, el de un fenómeno tan complejo como el la isla de calor. Esta complejidad se debe a que sobre esa variable climática inciden otras geográficas y estructurales de la ciudad relacionadas con las actividades humanas que en ellas se desarrollan.

Los SIG se muestran como una herramienta de análisis y de representación cartográfica sumamente eficiente, ya que permite estudiar los patrones espaciales de este fenómeno en el conjunto del área de estudio. En esta línea, una de las grandes ventajas de esta herramienta informática es la posibilidad de representar variables continuas, como es el caso de las temperaturas, a partir de datos puntuales (sensores) mediante interpolación espacial, lo cual permite una mejor comprensión del comportamiento térmico de la ciudad. Con respecto al análisis espacial hay que señalar que la cartografía de la temperatura obtenida constituye un modelo aproximado de la manifestación geográfica de esta variable. Esto se debe a que existen múltiples métodos de interpolación que conducen a resultados significativamente distintos, lo cual también depende de las características territoriales y los datos disponibles (Felicísimo *et al*, 2001). Por lo tanto, la selección del método de interpolación constituye una parte crítica a la hora de modelizar el comportamiento térmico de la ciudad. La obtención de superficies continuas para representar los elementos climáticos se ha realizado utilizando varios métodos de interpolación, destacando el *Kriging* (Cuadrat *et al*, 2005) y el *Spline* (Felicísimo *et al*, 2001). En el caso de esta investigación, se probaron dos métodos, el *Spline* y el Inverso de la distancia (IDW). Finalmente se optó por la utilización del método *Spline*, debido a que genera superficies amplias con coherencia espacial, mientras que el IDW crea interpolaciones más locales alrededor de los puntos de obtención de los datos (sensores). Sin embargo, es preciso analizar la validez de otros métodos de interpolación para concretar cual es el más adecuado a las características geográficas del área de estudio y al comportamiento de los registros térmicos obtenidos a partir de los sensores.

Por otro lado, los SIG permiten realizar análisis espaciales simples mediante la superposición de las variables consideradas, lo que constituye un método de acercamiento al estudio de las relaciones existentes entre las mismas, detectándose patrones y tendencias.

Con respecto a las características térmicas de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria se constata la existencia de una isla de calor con una intensidad media de 1,8° C, similar a otras ciudades españolas como Zaragoza (Cuadrat *et al*, 2005) e inferior a las grandes ciudades españolas como Madrid y Barcelona (Fernández *et al*, 1994; Moreno-García, 1994).

Finalmente, hay que considerar que los resultados obtenidos en esta investigación son preliminares debido a lo reducido de la serie térmica analizada. Además, habría que introducir otros análisis estadísticos que permitan detectar de forma más precisa las variaciones entre las diferentes series obtenidas. En este sentido, este trabajo ha permitido localizar a lo largo de la Ciudad Baja un número considerable de sensores que en el futuro permitirán ampliar este estudio. También es preciso realizar análisis espaciales más complejos y análisis estadísticos multivariante de la relación existente entre las variables consideradas (densidad edificatoria, altura de las edificaciones, densidad de tráfico y distancia al mar) y la temperatura y humedad, que permitan establecer cuales de estas variables tienen un mayor peso en la generación de la isla de calor. En relación al análisis espacial, la principal dificultad reside en combinar el modelo de datos raster de la superficie de temperaturas con el modelo vectorial con el que se han generado las variables que condicionan la intensidad y localización de la isla de calor. Asimismo, sería necesario considerar otras variables no contempladas en este estudio, como por ejemplo la reflectividad de las superficies, la anchura de las calles, el tiempo de exposición de las fachadas a la radiación solar y el comportamiento eólico, entre otras. Además, habría que analizar las variaciones experimentadas por la isla de calor en función de los diferentes tipos de tiempo que afectan a las islas Canarias. Por otro lado, sería interesante ampliar el área de estudio al conjunto de la ciudad consolidada, e integrar otras variables como la altitud.

Las conclusiones obtenidas en este trabajo son las siguientes:

- En la Ciudad Baja de Las Palmas de Gran Canaria, atendiendo a las temperaturas medias entre julio y noviembre del año 2007, se observan dos sectores cálidos. Estas zonas se localizan en los barrios del Puerto-Santa Catalina y Arenales. En cambio, las zonas más frescas se sitúan en los barrios de Guanarteme y el litoral de Vegueta-Triana.

- La intensidad media de la isla de calor del período de estudio tiene un valor muy bajo, de apenas 1,8° C de diferencia entre el punto más cálido y el más fresco de la ciudad.

- En cambio, el análisis de la intensidad de ese mismo fenómeno a escala mensual muestra valores ligeramente superiores siendo esta moderada en los meses de julio a octubre, con 2,3° C de diferencia entre el punto más fresco y el más cálido durante agosto y septiembre y de 2,2 y 2,1 en julio y noviembre respectivamente. Son pues valores de moderada intensidad de la isla térmica que cuando se adentra el otoño descienden por debajo de la media del período.

- Las variables más significativas que inciden en la intensidad y localización espacial de las temperaturas y la humedad son la densidad y altura de las edificaciones. Sin embargo, otras variables como la densidad de tráfico y la distancia a la costa tienen menor importancia.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación titulado “Análisis de la variabilidad térmica en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria: confort climático e isla de calor” financiado por la Fundación Universitaria de Las Palmas en su edición de 2007.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albero, V. y Calvo, F. (1981): Estudio comparativo del viento en los observatorios de Valencia-Viveros y Valencia-Aeropuerto. *Avances sobre la investigación en Bioclimatología*: 525-530.

Cuadrat, J.M.; Vicente-Serrano, S.M. y Saz, M.A. (2005): Los efectos de la urbanización en el clima de Zaragoza (España): la isla de calor y sus factores condicionantes. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 40: 311-237.

Felicísimo, A.M.; Morán, R.; Sánchez, J.M. y Pérez, D. (2001): Elaboración del atlas climático de Extremadura mediante un Sistema de Información Geográfico. *Geofocus*, 1: 17-23.

Fernández, F., López, A. y Arroyo, F. (1994): Frecuencia e intensidad de la isla de calor en Madrid. *Aportaciones en Homenaje al profesor Luis Miguel Albentosa*, Tarragona, pp. 91-101.

Fernández, F., Montávez, J.P.; González-Rouco, J.F. y Valero, F. (2004): Relación entre la estructura espacial de la isla térmica y la morfología urbana de Madrid. En: J.C. García; C. Diego; P. Fernández; C. Garmendia y D. Rasilla (Ed.): *El clima, entre el mar y la montaña*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC) serie A nº 4, pp. 641-650.

Hernández, A., Márquez, J.A., Rivero, A. y Romero, L. (2001): La isla de calor en Las Palmas de Gran Canaria: magnitud, distribución espacial y morfología urbana. En: A.J. Pérez-Cueva; E. López y J. Tamayo (Ed.): *El tiempo del clima*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC) serie A nº 2, pp. 519-530.

ISTAC (Instituto Canario de Estadística) (2007): *Anuario estadístico de Canarias 2006*. Gobierno de Canarias, Las Palmas de Gran Canaria, 359 pp.

Langdsberg, H. (1981): *The urban climate*. Academic Press, Londres, 275 pp.

Lomborg, B. (2008): *En frío. La guía del ecologista escéptico para el cambio climático*. Espasa, Madrid, 284 pp.

- Moreno-García, C. (1994): Intensity and form of the urban heat island in Barcelona. *International Journal of Climatology*, 14: 705–710.
- Oke, T.R. (1987): *Boundary layer climates*. Routledge, Londres y Nueva York, 435 pp.
- Ridd, M.K. (1992): *Exploring a V-I-S (vegetation-Impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing*. Universidad de Utah, Center for Remote Sensing, 23 pp. y gráficos.
- Romero, L.E.; Máyer, P.; Hernández-Cordero, A.I.; Ruiz, P. y Márquez, J.A. (2006): El comportamiento térmico de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria: la isla de calor nocturna. *Vegueta*, 9: 243-256.

Salvà-Catarineu, Montserrat y Romo-Díez, Ángel (2008): Uso de TIG para la conservación del sabinar de *Juniperus turbinata* subsp. *canariensis* en la isla de El Hierro. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 766-776. ISBN: 978-84-96971-53-0.

USO DE TIG PARA LA CONSERVACIÓN DEL SABINAR DE *JUNIPERUS TURBINATA* SUBSP. *CANARIENSIS* EN LA ISLA DE EL HIERRO

Salvà-Catarineu, Montserrat^{1,3} y Romo-Díez, Ángel^{2,3}

(1) Universitat de Barcelona, Dep. de Geografia Física i AGR. Montalegre, 6, 08001 Barcelona, salva@ub.edu

(2) Institut Botànic de Barcelona (CSIC – ICUB). Passeig del Migdia, s/n, 08038 Barcelona, a.romo@ibb.csic.es

(3) Grup de Recerca Biodiversitat i Biosistemàtica Vegetals (GReB)

RESUMEN

En las Islas Canarias crecen silvestres dos especies de sabinas: *Juniperus cedrus* y *Juniperus turbinata* subsp. *canariensis*. De estas dos especies, la sabina canaria (*Juniperus turbinata* subsp. *canariensis*) es la que tiene una distribución más amplia, ya que habita en las islas de Gran Canaria, Tenerife, La Palma, La Gomera y El Hierro. La sabina canaria es un endemismo macaronésico cuya ecología es poco conocida en el conjunto de las Islas Canarias. En concreto, se desconocen el estado actual de las poblaciones de la isla de El Hierro, su capacidad de regeneración, su posible regresión y las posibles pautas a seguir para favorecer su conservación.

Mediante Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) se ha caracterizado la distribución de *Juniperus turbinata* subsp. *canariensis* en la isla de El Hierro, la más sudoccidental de las Islas Canarias. Se estudia la estructura de edades, la densidad y la regeneración de las diferentes poblaciones.

Los resultados permiten interpretar las actuaciones a que han sido sometidos estos sabinares a lo largo de la historia. Se observa que la acción combinada de herbívoros y de sequías ha hecho que la regeneración del sabinar sea prácticamente nula.

Palabras Clave: biogeografía, conservación, *Juniperus turbinata* subsp. *canariensis*, TIG.

INTRODUCCIÓN

La sabina canaria (*Juniperus turbinata* subsp. *canariensis*) es un endemismo macaronésico que se encuentra en las islas de Gran Canaria, Tenerife, La Palma, La Gomera y El Hierro (Hansen & Sundig, 1993). En concreto las formaciones de sabina canaria cubren en la actualidad áreas importantes de las islas de La Gomera (Ceballos & Ortuño, 1976) y de El Hierro (Kämmer, 1976), en cambio en la isla de La Palma (Santos, 1983) son poco abundantes, pero sin llegar a ser raras y se encuentran muy localizadas en las islas de Tenerife y Gran Canaria (Ceballos & Ortuño, 1976) (Fig. 1). Fuera de Canarias la sabina canaria también se halla en las islas de Madeira y Porto Santo (Press & Short, 2001). Localidades todas ellas que configuran el rango total de distribución del taxón (Hansen & Sundig, 1993).

Los sabinares canarios forman poblaciones más o menos densas de carácter relíctico y que en la actualidad encuentran refugio en zonas de poco interés agrícola y áreas marginales con retazos de vegetación natural, (Marreno-Gómez *et al.*, 1991) ya que han sufrido un retroceso secular por presión antrópica (Rodríguez, O. *et al.*, 1990; Marreno-Gómez *et al.*, 1991; Fernández-Pello *et al.*, 2006). Históricamente la sabina había sido una planta común en las Islas Canarias occidentales, siendo muy abundante desde el nivel de mar hasta los 1.000 metros, colonizando diferentes hábitats y conviviendo con especies halófilas pero también con especies de la laurisilva. Actualmente los ejemplares mayores de sabina, se encuentran básicamente en El Hierro, donde además de ser los más longevos, es donde el sabinar ocupa en la actualidad las áreas más extensas de todo el archipiélago ca-

nario, (Fernández-Pello *et al.*, 2006). Dentro de El Hierro las formaciones de sabinar mejor conservadas se hallan en la parte occidental de la isla, donde se observan poblaciones en diferente estado de madurez, aunque esto no siempre ha sido así. En el Hierro, los bosques de sabinas formarían según Kämmer (1976) un piso de vegetación más o menos continuo entre los tabaibales y la laurisilva. Su área de distribución en esta isla fue detallada por Kämmer (1976) y posteriormente por Gaisberg (2005). Este nivel o piso dominado por las sabinas ha sido muy alterado por la acción humana y en numerosas zonas de la isla solo quedan fragmentos testimoniales del sabinar, o ejemplares aislados (Fernández-Pello, 1989).



Figura 1. Islas con presencia de *Juniperus turbinata* subsp. *canariensis* (en gris) en las Islas Canarias.

El interés por el género *Juniperus* queda avalado por los estudios realizados sobre diferentes especies y en diferentes ámbitos geográficos. Sobre *Juniperus communis*, García *et al.* (1996, 1999) abordan la dinámica de sus poblaciones y su conservación en la Península Ibérica. Clifton *et al.* (1997) hacen lo mismo para Inglaterra, y Austad *et al.* (1990) para Suecia. En gran parte de estos trabajos se constata que es un taxon en regresión (Ward, 1973, 1981, 1982). En contraste, los trabajos sobre *Juniperus thurifera* en la Península Ibérica, llevados a cabo por Guerra (2005), constatan una buena regeneración de las poblaciones de sabina albar ibéricas. En cambio, en Marruecos, no se observa regeneración alguna de *Juniperus thurifera*, sino todo lo contrario (Gauquelin *et al.*, 1999), solo se conocen poblaciones senescentes. Por este motivo, se han llevado a cabo estudios sobre la biología de la reproducción de los enebros, destacan los efectuados sobre *Juniperus communis* (García, 1997; García *et al.*, 1999; Zamora *et al.* 1996). Estos estudios denotan la necesidad de tomar medidas para su conservación (Primack, 1995). Este interés por el estudio de diferentes especies del género *Juniperus* contrasta con el conocimiento escaso de las poblaciones de la sabina canaria *Juniperus turbinata* subsp. *canariensis*, de la que solo se dispone de datos parciales para las poblaciones de Tenerife y de La Gomera (Otto *et al.*, 2006). En la mayoría de los casos los datos sobre sabinares se encuentran en estudios más generales de vegetación, éste es el caso de la isla de El Hierro (Arco-Aguilar *et al.*, 1996; Gaisberg, 2005). Una excepción son las aproximaciones monográficas a los sabinares de la isla de Tenerife que han sido objeto de un estudio fitosociológico detallado por Rodríguez *et al.*, (1990) y Marreno-Gómez *et al.*, (1991).

El presente trabajo pretende establecer la distribución de las poblaciones de sabina canaria usando tecnologías de la información geográfica y en valorar su viabilidad teniendo en cuenta la estructura de edad como indicador del proceso de regeneración y del estado de conservación. Se analizan algunos de los factores que han desencadenado su posible regresión y los que han llevado a la muerte de algunos ejemplares o a presentar una importante parte de los individuos con el vuelo necrosado, tal como se han detectado en la isla de El Hierro. Uno de los ejemplares necrosados (Fig. 4 izquierda), es de gran interés turístico y es uno de los símbolos de la Isla.

ÁREA DE ESTUDIO Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza en la isla de El Hierro (Fig. 1), la más sudoccidental de las Islas Canarias, donde se encuentran las mayores extensiones del sabinar canario (Fernández-Pello *et al.*, 2006). Para conocer la estructura de edad, la densidad y la capacidad de regeneración de las poblaciones de *Juniperus turbinata* subsp. *canariensis* en la Isla y evaluar su estado de conservación, se han realizado diferentes campañas de trabajo de campo (2004, 2006, 2007), durante las que se han delimitado 17 parcelas representativas (Tabla 1). Su estudio ha permitido obtener diferentes variables biométricas de los ejemplares que conforman las poblaciones del sabinar. Las parcelas de estudio representativas del sabinar son de 200 m² (10x20), poseen exposiciones diferentes y diferentes estadios de desarrollo del sabinar, de modo que corresponden a estadios senescentes, juveniles, adultos y necrosados. La elección de este tamaño de parcelas se debe a la dificultad para encontrar parcelas de 1ha de extensión cubiertas por el sabinar, ya que se trata de un bosque muy fragmentado y de carácter residual (Fernández-Pello *et al.*, 2006), cuyos testimonios ocupan siempre extensión reducida.

Tabla 1. Características de las 17 parcelas de muestreo en la isla de El Hierro: nombre de la población, código asignado, altitud, latitud, longitud, orientación, pendiente y densidad de individuos por 100 m².

Poblaciones muestreadas	Código	Altitud (m)	Latitud	Longitud	Orientación	Pendiente (°)	<i>n_i</i> (100m ²)
El Sabinar_1	SR1	304	27° 45' 13" N	18° 08' 38" W	SE	12	1,5
El Sabinar_2	SR2	589	27° 45' 07" N	18° 07' 33" W	WNW	20	5
El Sabinar_3	SR3	536	27° 45' 05" N	18° 07' 45" W	NW	17	1,5
El Sabinar_4	SR4	505	27° 45' 01" N	18° 07' 41" W	NNW	19	1
El Sabinar_5	SR5	595	27° 44' 59" N	18° 07' 35" W	W	10	1
El Sabinar_6	SR6	608	27° 44' 55" N	18° 07' 34" W	NW	18	1
Sabinosa_1	SA1	265	27° 44' 51" N	18° 05' 04" W	NNE	42	4
Sabinosa_2	SA2	254	27° 44' 50" N	18° 05' 11" W	NNW	35	2
Sabinosa_3	SA3	292	27° 44' 48" N	18° 05' 10" W	NE	40	5
Barranco de la Charca_1	BC1	342	27° 44' 41" N	18° 08' 34" W	W	14	2,5
Barranco de la Charca_2	BC2	363	27° 44' 41" N	18° 08' 30" W	NNW	21	4
El Crees	CRE	740	27° 44' 22" N	18° 07' 26" W	WNW	17	3,5
Piedra del Regidor	PDR	750	27° 43' 53" N	18° 07' 09" W	N	31	4
El Julán_1	JU1	1012	27° 43' 01" N	18° 04' 04" W	S	40	4
El Julán_2	JU2	868	27° 42' 59" N	18° 05' 41" W	SW	30	3,5
El Julán_3	JU3	990	27° 42' 59" N	18° 03' 43" W	SSW	32	1,5
El Julán_4	JU4	982	27° 42' 59" N	18° 04' 03" W	S	38	2

Todas las parcelas se han georeferenciado con un receptor *Global Positioning System* (GPS). En cada parcela se han medido todos los individuos de sabina canaria. Se han tomado medidas de: diámetro de copa, altura, vitabilidad (porcentaje de la copa necrosada), su diámetro a la altura del pecho (*Dimeter at breast height*: DBH) y, por la existencia del porte rastrero, su diámetro de base a nivel del suelo (*Diameter at soil height*: SHD). Los DBH y SHD se han tomado de todos los troncos presentes en las parcelas estudiadas, independientemente de si los árboles tienen una estructura multicaule o no. Las parcelas en las que no existe ningún dato de DBH, esta motivado porque los ejemplares son muy jóvenes y no alcanzan la altura suficiente para calcular el DBH. También se ha anotado la presencia o ausencia de gálculos y de líquenes epifitos. Finalmente, se ha considerado la edad, según la altura y el % necrosado, en las siguientes clases: plántulas (**p**) <50 cm, jóvenes (**j**) 51-200 cm, adultos reproductores (**r**) > 201 cm, senescentes (**s**) > 45% necrosado y muertos (**d**), todo a partir de las propuestas de Ward (1973), Gatsuk *et al.* (1980) y Clifton *et al.* (1997) adaptadas.

RESULTADOS

Densidad de los árboles

Los sabinares de El Hierro tienen un marcado carácter residual, prueba de ello es la dificultad que entraña localizar parcelas mayores de 200 m² cubiertas por el sabinar, por lo que hemos utilizado este tamaño de parcela. Dentro de las parcelas el número de pies oscila entre dos y diez. Las densidades mayores de pies se corresponden con las parcelas SR2 y SA3 de 20° y 40° de pendiente respectivamente. No se ha encontrado correlación entre el pendiente y la densidad de sabinas.

Estructura de edades

La dinámica de los sabinares en el pasado puede haber influido en la estructura de edades actuales de las poblaciones (Harper, 1977) lo cual es muy importante para estas especies tan longevas. Se han detectado únicamente cinco plántulas (**p**), que hemos agrupado en la categoría de jóvenes, corresponden a las parcelas: SR2 (2), JU1 (1) y PDR (2). Los resultados que se muestran en las figuras 2 y 3, se refieren a las cuatro categorías: jóvenes (**j**) adultos reproductores (**r**), senescentes (**s**) y muertos (**d**).

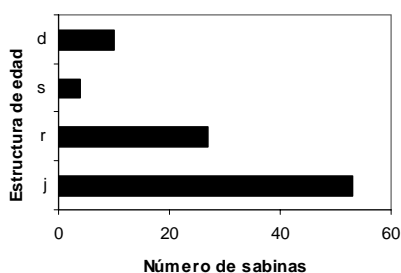


Figura 2. Número total de sabinas canarias por estructura de edad medidas en las 17 parcelas.

DBH (*Dimeter at breast height*)

Como se observa en las figuras 2 y 3, dominan los ejemplares juveniles, seguidos de los adultos y de los senescentes. Es destacable constatar la escasa presencia de plántulas en las parcelas estudiadas (los ejemplares de menor talla superan los 40 cm sin alcanzar los 50 cm, por lo que se han agrupado como jóvenes).

Una visión global de los DBH la tenemos en la figura 3 (derecha), donde se observan desde ejemplares senescentes, con valores de DBH elevados, a parcelas en fase de regeneración, con valores de DBH bajos.

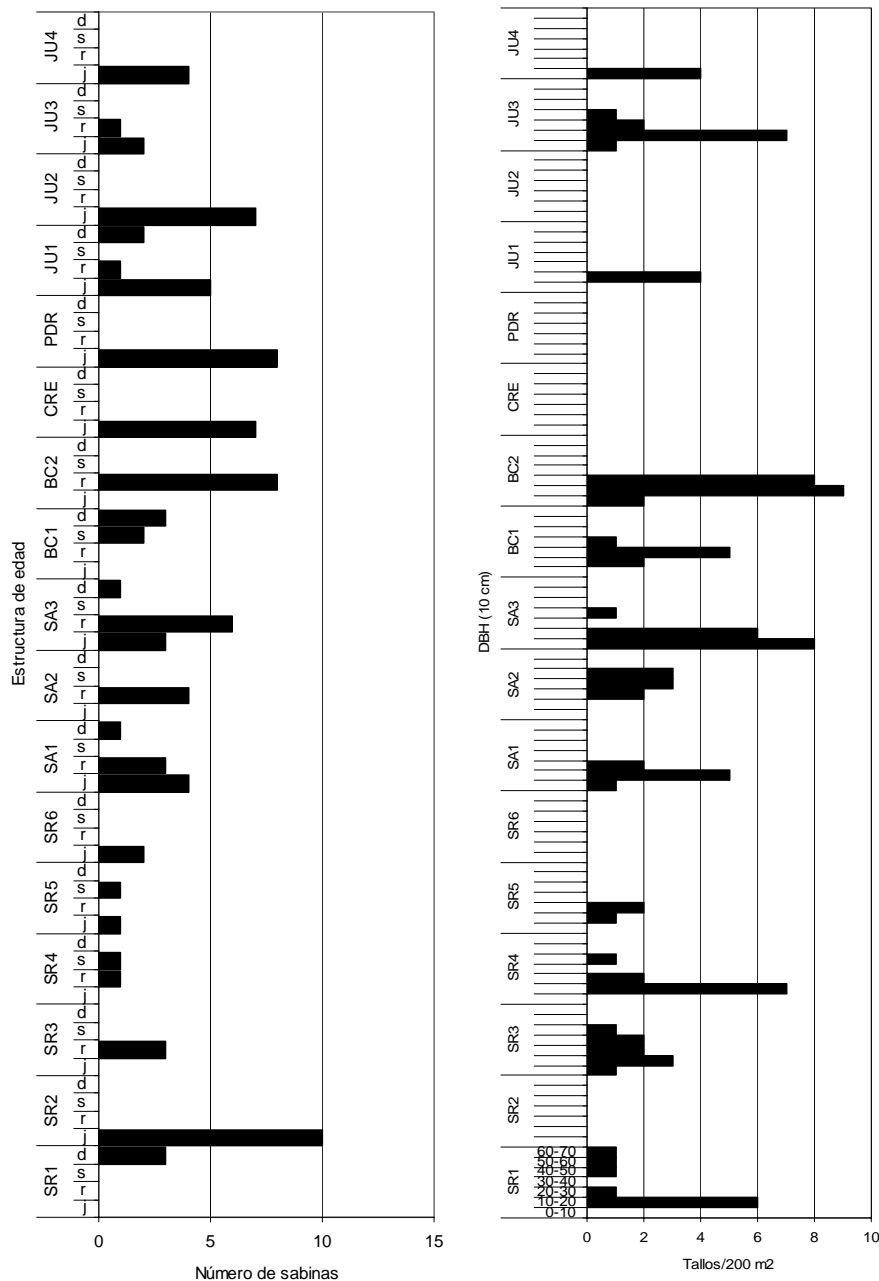


Figura 3. A la izquierda, estructuras de edad (jóvenes (j) adultos reproductores (r), senescentes (s) y muertos (d) en las 17 parcelas estudiadas en El Hierro. A la derecha, DBH de las parcelas estudiadas agrupadas en intervalos de 10 cm.

Estructura de las sabinas

La estructura multicaule de los sabinares se interpreta como una mejor adaptación a vivir en ambientes extremos y especialmente difíciles, tal como sugiere (Bertaudière *et al.*, 2001), este es el caso de *Juniperus thurifera* subsp. *africana* en el Gran Atlas marroquí. En las sabinas de El Hierro esta estructura multicaule se manifiesta por la ramificación desde el lignotuber, que da lugar a varios troncos, la mayoría de las veces de grosor y diámetros relativamente homogéneos. Además de esta estructura multicaule, destaca el porte rastrero de los troncos, con crecimientos paralelos al suelo, y solo las ramificaciones foliares se separan del suelo y crecen erectas. El porte rastrero es una mejor adaptación para ocupar el espacio y mantener las copas de los árboles menos expuestas a los embates del viento. El crecimiento de los árboles esta condicionado por el viento predominante del NE (vientos alisios), que modelan los árboles ya que adquieren formas arqueadas (Hernández *et al.*,

1985) (Fig. 4). En los lugares de viento persistente, los árboles presentan un porte muy peculiar. Las sabinas tienen formas aerodinámicas adaptadas al viento. En los enclaves batidos por estos vientos no hay crecimiento o aparecen formas necrosadas. Los árboles se desarrollan a favor del mismo y tiene formas aerodinámicas que reducen la violencia y el poder abrasivo del viento.



Figura 4. Sabinas con el porte rastrero y multicaule de los troncos. Crecen deformadas por los vientos dominantes alisios del NE en El Sabinar.

DISCUSIÓN

La densidad de árboles es bastante más baja que la encontrada por Johnson *et al.* (2006) para *Juniperus occidentalis* en Norteamérica y por García *et al.*, (1999) para *Juniperus communis* en la Península Ibérica, lo que se puede interpretar como que las sabinas canarias viven en condiciones, tanto naturales como antrópicas, más adversas. Las mayores densidades se encuentran en las parcelas de mayor pendiente ya que históricamente fueron los lugares menos explotados.

Las cinco parcelas (JU4, PDR, CRE, SR6, SR2) con ejemplares juveniles (**j**) como únicos representantes, corresponden a los sectores que se encuentran en estado pionero de recolonización o de regeneración. Esta recuperación se debe a un cambio en la gestión. La regeneración ha sido posible por el abandono del pastoreo y condiciones climáticas favorables que hicieron posible la germinación y el desarrollo de las plántulas.

Los casos en que existen ejemplares juveniles y reproductores (**j**, **r**) corresponden a un estado más avanzado de recolonización, éste es el caso de una de la parcela JU3, donde el cambio de uso en la gestión es más antiguo. En ambos casos, la recuperación se inició en la década de 1970, cuando la administración insular (Cabildo de El Hierro) decidió proteger los sabinares.

En la parcela SR1 existen ejemplares juveniles, reproductores y muertos (**j**, **r**, **d**), lo cual indica un cambio de gestión del territorio, respecto a las otras parcelas. Los individuos juveniles y reproductores actuales no han llegado al estadio senescencia, pues el tipo de gestión actual ha permitido una regeneración de los jóvenes. En este sector, existió una fuerte presión antrópica que eliminó o hizo imposible que prosperasen los que ahora serían ejemplares senescentes, en cambio el grupo de individuos ya muertos, indica que hubo una época favorable para que éstos se instalaran.

Las poblaciones con individuos senescentes (BC1, SR4, SR1) son enclaves con una elevada mortandad de ejemplares y están situadas en los límites inferiores (342 - 596 m) de distribución del sabinar, esto indica que los factores ambientales adversos les impiden su regeneración.

Finalmente, cabe destacar una parcela que solo presenta ejemplares muertos (**d**) (SR1) en la que no existe ningún tipo de regeneración y otras con parte de ejemplares muertos (BC1, JU1, SA1, SA3). Todas ellas corresponden a enclaves que soportan condiciones extremas, a muy baja altitud, donde las condiciones climáticas no favorecen la germinación y el desarrollo de las plántulas. En ellas, los ejemplares necrosados, son los testimonios de que en su día existieron condiciones favorables que permitieron su germinación y desarrollo, pero que

en la actualidad, el cambio de gestión llegó demasiado tarde y la mayoría de los individuos ya estaban en edad senescentes o muertas, por ello sin germinación y con escasas posibilidades para asegurar *in situ* la regeneración. Todo parece indicar que la presencia de individuos muertos o ejemplares con un elevado porcentaje del vuelo altamente necrosado, no están motivados por la presión antrópica, sino por factores ambientales desfavorables (sequía) que dificultan su regeneración hasta impedirla.

Si existiesen parcelas que presentaran árboles con todos los estadios posibles, serían indicadoras de que no ha habido en ellas cambios de gestión durante los últimos siglos, estando exentas de explotación ganadera. Este caso no se da entre las parcelas estudiadas, ni se ha observado en ningún lugar de los visitados en la Isla.

La falta de regeneración en los últimos años hay que buscarla en diferentes causas. Por un lado existen poblaciones que están en franca expansión, especialmente donde se ha suprimido la presión ganadera. Los herbívoros son la principal causa de la mortalidad de las plántulas, aunque no la única. Una de las razones es que en la Isla existen pocos sitios con sombra y la mayoría están bajo las sabinas. Estos lugares son aprovechados por el ganado como lugar de descanso durante las horas más calurosas del mediodía, por tanto, estas superficies con sombra soportan una fuerte presión ganadera, en las que el ramoneo es más intenso. Por este motivo, entre otros, el sabinar se recupera en las áreas en las que se ha suprimido el pastoreo, como en El Julán (SW de El Hierro). La casi ausencia de plántulas parece indicar la poca eficiencia de la diseminación de los gábulos, sugiriéndose como explicación de ello, la disminución de la avifauna en la Isla, cuyo papel es importante en la regeneración del sabinar (Delgado *et al.*, 2006). Otra alternativa, ya que no existen plántulas muertas, es que no se han dado condiciones favorables para la germinación de los gábulos o que estos, si han germinado, no han llegado a prosperar.

El abandono de las actividades ganaderas, hace aproximadamente 40 años favoreció una eclosión de plántulas que ocuparon el territorio hasta la actualidad, esta eclosión o es más lenta, por existir una mayor densidad de ejemplares colonizando las áreas y ocupando el espacio en el que disminuyó la presión ganadera, o no se han vuelto a dar las condiciones favorables que tuvieron lugar hace varias décadas tras el abandono de las actividades ganaderas. No hay que olvidar que algunos de los sabinares han sido o son aún sometidos a pastoreo de caprinos, hecho que impide que la especie se regenere, tal como sucede en Sierra Nevada con *Juniperus communis* (Molero *et al.*, 1992) pues las plantas jóvenes y las plántulas son ramoneadas sistemáticamente por los herbívoros. En la mayoría de las poblaciones de El Hierro la regeneración es inexistente ya que en ellas no se observa ni la presencia de ejemplares jóvenes ni de plántulas. Esta situación es similar a la observada en las montañas de Omán, en la Península Arábiga, donde la regeneración de *Juniperus excelsa* (Fisher *et al.*, 1995; Fisher, 1997; Gardner *et al.*, 1994, 1996) es nula.

Los sabinares de El Hierro, han estado sometidos a presión ganadera incontrolada durante largos períodos (Fernández-Pello *et al.*, 2006), en la actualidad, una parte importante de ellos está en franco proceso de regeneración por la disminución de la presión ganadera y de otros aprovechamientos. La regeneración, que en algunos casos, como hemos comentado, empezó hace más de 40 años, se observa bien en los bosques cercanos a Sabinosa y en El Julán. En el año 1943 se levantó una cerca para aislar las parcelas de la Dehesa comunal, otorgadas en usufructo a los vecinos de la población de Sabinosa para su cultivo, e impedir la entrada de los rebaños. Esta actuación favoreció la recolonización de las sabinas en las partes altas pues pronto se abandonaron los cultivos, por ser poco productivos, ante la ausencia de presión ganadera las sabinas recuperaron territorio, similar a lo sucedido en otras latitudes (Blackburn *et al.*, 1970; Faliński, 1980; Gómez-Sal *et al.* 1993; Miller *et al.* 2000) con taxones próximos. Posteriormente, en 1957, el Cabildo insular delimita una zona superior del sabinar antiguo, en el que queda prohibido el pastoreo de cabras y ovejas. En el año 1975, el bosque de sabinas mejor conservado quedó incluido en el inventario de espacios naturales que prohíbe cualquier uso del bosque.

Por otro lado, el sabinar se muestra especialmente sensible a los cambios ambientales y por ello está en regresión, especialmente las poblaciones que se encuentran en el NW de la Isla y en las partes inferiores (SR1: 304 m), básicamente por condiciones hídricas adversas (Lovett-Doust, 1990, Eriksson, 1996). El dilema se presenta en algunas parcelas: ¿por qué no existe en ellas regeneración de ningún tipo? También es destacable la falta de plántulas en casi todas las parcelas estudiadas. Realmente, ¿no existe regeneración del sabinar, o ésta es exclusiva de los años en que se dan toda una serie de condicionantes favorables?

La sabina canaria (*Juniperus turbinata* subsp. *canariensis*) que se encuentra en El Hierro es un ejemplo de límite de distribución de una población similar a otras especies del género *Juniperus* donde la población se re-

duce en situaciones de sequía. (Fisher 1997). Se ha comprobado que el índice de supervivencia es bajísimo en las colinas secas del NW de la isla de El Hierro, y aunque la sabina canaria tiene una mayor adaptación a la sequía, si esta es pertinaz, tiene un efecto nefasto sobre las plántulas y sobre los individuos senecentes.

Herbívoros y condiciones de estrés hídrico son los factores que sumados hacen que la regeneración de estos sabinares sea casi inexistente en la actualidad, pero que sí se dieron en la segunda mitad del siglo XX.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Sra. Montserrat Granados, al Sr. José Fernández, Sr. Gabriel Fernández y al Sr. Maximino Fernández González, la atención recibida y la valiosa información facilitada de la isla, durante nuestras estancias en el Hierro y al Sr. Javier Armas del Cabildo insular de El Hierro por las facilidades dadas en al ejecución de el trabajo de campo. Este estudio ha sido financiado por la Facultat de Geografia i Història de la Universitat de Barcelona y por proyecto CGL2006-01765 de la Secretaría de Estado de Educación, Universidades, Investigación y Desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

- Arco Aguilar, M.J. del; Acebes, J.R. & Pérez de Paz, P.L. (1996). Bioclimatology and climatophilous vegetation of the Island of El Hierro (Canary Islands). *Phytoceonologia*, 26: 445-479.
- Austad, I. & Hauge, L. (1990). Juniper fields in Sogn, western Norway a man-made vegetation type. *Nordic Journal of Botany*, 9 : 665–683.
- Bertaudière, V.; Montès, N.; Badri, W. & Gauquelin, T. (2001). La structure multicaule du genévrier thurifère: avantage adaptatif à un environnement sévère?. *C. R. Acad. Sci. Paris. Sciences de la Vie*, 324: 627-634.
- Blackburn, W.H. & Tueller, P.T. (1970). *Ecology*, 51 (5): 841–848.
- Ceballos Fernández de Córdoba, L.; Ortuño Medina, F. (1976). *Estudio sobre la vegetación y la flora forestal de las Canarias Occidentales*. Medina Ed. Sta. Cruz de Tenerife.
- Clifton, S.J.; Ward, L.K. & Ranner, D.S. (1997). The status of juniper *Juniperus communis* L. in north-east England. *Biological Conservation*, 79: 67–77.
- Delgado, J.D.; Otto, R.; Arévalo, J.R. & Fernández-Palacios, J.M. (2006). Avifauna de los sabinares canarios, estructura y composición. *III International Congress on Juniperus. Actas*: 359. Soria. España.
- Eriksson, O. (1996). Regional dynamics of plants: a review of evidence for remnant, source-sink and metapopulations. *Oikos*, 77: 248–258.
- Falinski, J.B.; (1980). Vegetation dynamics and sex structure of the populations of pioneer dioecious woody species. *Vegetatio*, 43: 23–38.
- Farjon, A. (2005). *A monograph of Cupressaceae and Scyadopytys*. Royal Botanic Gardens. Kew. 643 pp.
- Fernández-Pello Martín, L. (1989). *Los paisajes naturales de la isla de El Hierro*. Centro de la Cultura Popular Canaria. Santa Cruz de Tenerife. 272 pp.

- Fernández-Pello, L.; González, M.L. & Quitantes González, F. (2006). La influencia de los factores geográficos en la organización interna de un bosque residual: el Sabinar de la Dehesa (El Hierro, Islas Canarias). *III International Congress on Juniperus. Actas*: 263-271. Soria. España.
- Fisher, M. & Gardner, A.S. (1995). The status and ecology of *Juniperus excelsa* subsp. *polycarpus* from the northern mountains of Oman. *Vegetatio*, 119: 33–51.
- Fisher, M. (1997). Decline in the juniper woodlands of Raydah Reserve in southwestern Saudi Arabia: a response to climate changes? *Global Ecology and Biogeography, Letters* 6: 379–386.
- Gaisberg, M. von (2005). Die Vegetation der Fußstufe von El Hierro (Kanarische Inseln). *Dissertationes Botanicae*, Band 395, 364 Pages, J. Cramer, Berlin-Stuttgart.
- García, D. (1997). *Efecto de las plagas del fruto en la interacción mutualista entre plantas y aves dispersantes: el caso del enebro Juniperus communis L. en Sierra Nevada*. Ms. dissertation, Universidad de Granada, Granada.
- García, D.; Gómez, J.M.; Hódar, J.A. & Zamora, R. (1996). Ecología reproductiva del enebro *Juniperus communis* L. en Sierra Nevada: factores que determinan la regeneración natural de las poblaciones. In: Chacón & Rosúa (Eds.) *Sierra Nevada: Conservación y Desarrollo Sostenible*, vol. 2. Universidad de Granada, Granada, pp. 441–453.
- García, D.; Zamora, R.; Hódar, J.A. & Gómez, J.M. (1999). Age structure of *Juniperus communis* L. in the Iberian Peninsula: Conservation of remnant populations in Mediterranean mountains. *Biological Conservation*, 87: 215-220.
- Gardner, A.S. & Fisher, M. (1994). How the forest lost its trees: Just So storytelling about *Juniperus excelsa* in Arabia. *Journal of Arid Environments*, 26: 299–301.
- Gardner, A.S. & Fisher, M. (1996). The distribution and status of the montane juniper woodlands of Oman. *Journal of Biogeography*, 23: 791–804.
- Gilbert, O.L. (1980). Juniper in Upper Teesdale. *Journal of Ecology*, 68: 1013–1024.
- Gómez-Sal, A.; Álvarez, J.; Muñoz-Yanguas, M.A. & Rebollo, S. (1993). Patterns of change in the agrarian landscape in an area of the Cantabrian Mountains (Spain) assesments by transition probabilities. In: Bunce, Ryzkowski & Paoletti (Eds.). *Landscape ecology and agroecosistems*, Lewis, Boca Ratón, FL, pp. 141–152.
- Gauquelin, V.; Bertaudiere, N.; Montes, W.; Badri & Asmode, J.F. (1999). Endangered standards of thuriferous juniper in the western Mediterranean basin: Ecological status, conservation and management. *Biodiversity and Conservation*, 8: 1479-1498.
- Guerra, J.C. (2005). Los sabinares albares de *Juniperus thurifera* L.: estructura y dinámica de una formación difusa en las llanuras del centro de la Cuenca del Duero. *Eria*, 66: 5-25.
- Hansen, A. & Sunding, P. (1993). Flora of Macaronesia. Check-list of Vascular Plants. 4 revised edition. *Sommerfeltia*, 17: 1-295.
- Harper, J.L. (1977). *Population biology of plants*. Academic Press. London. 892 pp.

- Hernández Padrón, C. (1987). Flora y vegetación liquénica epifítica de los sabinares Herreños. *Bibliotheca Lichenologica*, Band 27. J. Cramer Verlag. 190 pp.
- Hernández Padrón, C.; Pérez de Paz, P.L. & Wildpret de la Torre, W. (1985). Contribución al estudio bioclimatológico de El Hierro (Islas Canarias). *Vieraea*, 14: 77-111.
- Johnson, D.D. & Miller, R.F. (2006). Structure and development of expanding western juniper woodlands as influenced by two topographic variables. *Forest Ecology and Management*, 229: 7-15.
- Kämmer, F. (1976). The influence of man on the vegetation of the island of Hierro (Canary Islands). In: G. Kunkel (Ed.). *Biogeography and ecology in the Canary Islands*. Monogr. Biol., 30: 327-346.
- Lovett-Doust, J. & Lovett-Doust, L. (1990). *Plant reproductive ecology*. Oxford University Press.
- Marreno-Gómez, M.V, Rodríguez Delgado, O. & Wilpret de la Torre, W. (1991). Contribución al estudio fitocorológico de los restos de sabinares y otras comunidades termófilas del S de Tenerife (Islas Canarias). *Rev. Acad. Canar. Cienc.*, 3 (4): 25-44.
- Miller, R.F.; Svejcar, T.J. & Rose, J.A. (2000). Impacts of western juniper on plant community composition and structure. *Journal of Range Management*, 53: 574-585.
- Molero, J.; Pérez, F. & Valle, F. (1992). *Parque Natural de Sierra Nevada*. Ed. Rueda, Madrid.
- Otto, R.; Krüsi, B.O.; Schaffner, S.; Meuwly, P.; Delgado, J.D.; Arévalo, J.R. & Fernández-Palacios, J.M. (2006). Ecología estructura y dinámica de las poblaciones de la sabina canaria en Tenerife y La Gomera. *III International Congress on Juniperus. Actas*: 151-159. Soria. España.
- Press, J.R. & Short, M.J. (2001). *Flora of Madeira*. The Natural History Museum. Intercept Limited. 574 pp. Andover, UK.
- Primack, R.B. (1995). *A Primer of Conservation Biology*. Sinauer Associates Inc, Sunderland, MA.
- Rivas-Martínez, S.; Wildpret, W. & Pérez de Paz, P.L. (1993). Datos sobre *Juniperus phoenicea* aggr. (*Cupressaceae*). *Itinera Geobotánica*, 7: 509-512.
- Rodríguez, O.; Wildpret, W.; Arco, M.J. del & Perez, P.L. (1990). Contribución al estudio fitosociológico de los restos de sabinares y otras comunidades termófilas de la isla de Tenerife (Canarias). *Rev. Acad. Canar. Cienc*, 2: 121-142.
- Rosén, E. (1988). Development and seedling establishment within a *Juniperus communis* stand on Öland, Sweden. *Acta Botanica Neerlandica*, 37: 193-201.
- Rosén, E. (1995). Periodic droughts and long-term dynamics of Alvar grassland vegetation on Oland, Sweden. *Folia Geobotanica Phytotaxonomica*, 30: 131-140.
- Santos Guerra, A. (1983): *Vegetación y flora de La Palma*. Ed. Interinsular Canaria. Santa Cruz de Tenerife.
- Ward, L.K. (1973). The conservation of juniper: present status of juniper in southern England. *Journal of Applied Ecology*, 14: 163-178.

- Ward, L.K. (1981). The demography, fauna and conservation of *Juniperus communis* in Britain. In: Syne (Ed.), *The Biological Aspect of Rare Plant Conservation*. John Wiley and Sons, London, pp. 319–329.
- Ward, L.K. (1982). The conservation of juniper: longevity and old age. *Journal of Applied Ecology*, 19: 917–928.
- Zamora, R.; Gómez, J.M.; García, D. & Hódar, J.A, (1996). Ecología reproductiva y regeneración del matorral de la alta montaña de Sierra Nevada: capacidad de respuesta a las perturbaciones. In: Chacón & Rosúa (Eds.). *Sierra Nevada: Conservación y Desarrollo Sostenible*, vol. 2. Universidad de Granada. Granada, pp. 407–422.

Suárez Ruiz, Carlos Arturo (2008): Modificaciones ambientales de los espigones en serie de la costa del litoral central del Estado Vargas, Venezuela. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 777-780. ISBN: 978-84-96971-53-0.

MODIFICACIONES AMBIENTALES DE LOS ESPIGONES EN SERIE DE LA COSTA DEL LITORAL CENTRAL DEL ESTADO VARGAS, VENEZUELA

Suárez Ruiz, Carlos Arturo

Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico de Caracas .Departamento de Ciencias de la Tierra .Caracas, Venezuela. carturo7982@yahoo.es

RESUMEN

En la costa norcentral de Venezuela se construyó una serie de espigones con el propósito de crear playas artificiales con fines recreativos. El objetivo del trabajo fue determinar las influencias ambientales de los espigones y su efectividad para los fines propuestos. La metodología utilizada consistió en la interpretación de fotos aéreas e imágenes de satélite y observaciones y mediciones en campo. Los resultados mostraron que: algunos espigones favorecieron las playas artificiales, otros no han evitado procesos erosivos locales, los espigones más orientales del área protegida están siendo desmantelados, y las obras de ingeniería han originado nuevos problemas ambientales.

Palabras Clave: espigones, playas artificiales, costas Venezuela.

ABSTRACT

In the northcentral coast of Venezuela a series of jetties was constructed in order to create artificial beaches with recreational purposes. The objective of the work was to determine the environmental influences of the jetties and their effectiveness for the proposed aims. The used methodology consisted of the interpretation of aerial photos and satellite images and observations and measurements in field. The results showed that: some jetties favored artificial beaches, others have not prevented local erosive processes, the most eastern jetties of the protected area are being dismantled, and the engineer installations have originated new environmental problems.

Key words: jetties, artificial beaches, Venezuelan coasts.

INTRODUCCION

El Litoral Central de Venezuela es una franja costera estrecha ubicada en la parte Norcentral de Venezuela, flanqueada por una cadena montañosa que alcanza alturas cercanas a los 2800 metros.

La cercanía del relieve montañoso al mar determina una costa de acantilados con predominio de procesos erosivos, caracterizada por escasas áreas de sedimentación aluvial y marina de menor pendiente, siendo notable la ausencia de playas naturales.

La geología del relieve montañoso está compuesta por esquistos y gneises del Complejo San Julián y los esquistos de Tacagua, y en la parte baja costera afloran aluviones cuaternarios (Urbani, Rodríguez, Barboza, Rodríguez, Cano, Melo, Castillo, Suárez, Vivas y Fournier, 2000). El clima es modificado por efectos de la altitud, desde semi-árido en las franjas costeras, hasta un clima con permanencia de niebla en los topos orográficos cercanos a los 2000 metros (Zambrano, 1970; Vila, 1960).

La vegetación consiste de una serie de franjas altitudinales; en las partes bajas predominan cardonales y espinares, luego aparecen los bosques deciduos (caducifolios), bosques semi-deciduos, y por último los bosques siempre verdes montanos, incluyendo los bosques nublados (Amend, 1999; PDVSA, 1993).

La capital del país se encuentra a unos 30 km del Litoral Central y concentra una población de unos 4 millones de habitantes. Las necesidades de recreación de la ciudad capital han influido en el desarrollo turístico del Litoral Central, y la falta de playas naturales debido a las condiciones geomorfológicas anteriormente mencionadas han determinado la construcción de numerosas playas artificiales utilizando en la mayoría de los casos estructuras de protección costera del tipo espigones y vertimientos de arena.

El área de estudio del presente trabajo es un sector costero de unos 4 km comprendidos entre Cabo Blanco al Oeste y Catia la Mar al Este, del estado Vargas en la parte centro norte de Venezuela.

El objetivo del trabajo fue determinar la influencia geomorfológica de los espigones y su efectividad como medida de protección de la costa.

METODOLOGIA

La metodología consistió en el análisis comparativo de dos fuentes de información cartográfica representadas por ortofotomapas a escala 1:25.000 del año 1994 (La Guaira 6847-IV-NO; Catia la Mar 6847-I-NE) e imágenes satelitales del 2008 de Google Earth, y trabajo de campo al área para determinar la efectividad geomorfológica de los espigones en la formación de las playas artificiales.

ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Los espigones del área de estudio son estructuras compuestas de rocas, orientados oblicuamente con respecto a la línea de playa y unidos a la costa en uno de sus extremos. En este sector costero de 4 km de longitud se han construido una serie de 20 espigones, de los cuales sólo se analizaron 10. Los espigones estudiados tienen una longitud entre 120 y 350 m, algunos simples y otros compuestos, y con distancias de separación variables (Figura 1 y Tabla 1).

Tabla 1. Características de los espigones del Litoral Central del estado Vargas (entre Cabo Blanco al Oeste y Catia la Mar al Este). Venezuela.

Espigón (del W al E)	Longitud (m)	Orientación (grados)	Distancia entre espigones consecutivos (m)
1	120	N 30 E	-
2	170	N 30 E	270
3	250	N 30 E	250
4	220	N 30 E	300
5	220	N 30 E	300
6	270	N 25 E	850
7 (sección 1)	125	N 89 E	150
7 (sección 2)	100	N 45 W	-
8 (sección 1)	220	N 15 W	400
8 (sección 2)	100	N 75 W	-
9 (sección 1)	250	N 30 E	250
9 (sección 2)	100	N 60 W	-
10	175	N 40 E	225

La construcción de los espigones en serie tenía como propósito reducir la erosión costera, la interrupción parcial del transporte litoral, y la retención de sedimentos para formar playas artificiales con fines recreativos. (Enríquez, y Berenguer, 1986).

La formación de playas artificiales aceptables sólo se observa en dos sectores, uno asociado a dos espigones en el extremo Oeste y otro hacia el extremo oriental del sector estudiado.



Figura 1. Espigones en serie del Litoral Central, Estado Vargas, Venezuela. Sector entre Cabo Blanco (foto superior) y Catia la Mar (foto inferior). Imágenes de Google Earth.

La comparación de los datos de 1994 (ortofotomapas) y 2008 (imágenes de satélite) y el trabajo de campo permitieron establecer que la mayoría de los espigones en ese período de análisis de 14 años no han sido efectivos en la retención de sedimentos y la generación de playas artificiales suficientemente atractivas para el turismo, ocasionando más bien deterioro de los espigones por erosión marina y modificaciones ambientales que inciden negativamente en la calidad escénica del área de estudio. (Martínez, 1997).

Es recomendable evaluar técnicamente la serie de espigones del área de estudio para introducir las variaciones requeridas que permitan alcanzar los objetivos iniciales propuestos y también para evitar la repetición de errores semejantes en el manejo de costas en Venezuela.

REFERENCIAS

- Amend, S. (1999): *Parque Nacional El Ávila*. Editorial Torino (Parques Nacionales y Conservación Ambiental, 2), Caracas.
- Enríquez, F. y Berenguer, J. (1986): *Evaluación Metodológica del Impacto Ambiental de las obras de Defensa de Costas*. MOPU-CEDEX, Centro de Estudios de Puertos y Costas, Madrid.
- Martínez, J. (1997): *Geomorfología Ambiental*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria.
- PDVSA (1993): *Imagen Atlas de Venezuela*. Petróleos de Venezuela, Caracas.

Urbani, F.; Rodríguez, J.; Barboza, L.; Rodríguez, S.; Cano, V.; Melo, L.; Castillo, A.; Suárez, J.; Vivas, V. y Fournier, H. (2000): Geología del estado Vargas, Venezuela. En: *Seminario Internacional los aludes torrenciales* (CD).UCV, Facultad de Ingeniería, Instituto de Mecánica de Fluidos, Caracas.

Vila, P. (1960): El territorio Nacional y su Ambiente Físico. En: *Geografía de Venezuela* (Tomo I). Ministerio de Educación, Caracas.

Zambrano, A. (1970): Estudio fisiográfico regional de la Cuenca del Tuy. *Boletín de Geología*, XI, 21.

Vallejo Villalta, Ismael y Ojeda Zújar, José (2008): Balance sedimentario y cronología del sistema de dunas activas del parque nacional de Doñana: aplicaciones de los MDES. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 781-790. ISBN: 978-84-96971-53-0.

BALANCE SEDIMENTARIO Y CRONOLOGÍA DEL SISTEMA DE DUNAS ACTIVAS DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA: APLICACIONES DE LOS MDES

Vallejo Villalta, Ismael¹ y Ojeda Zújar, José²

Dpto. Geografía Física y AGR. Universidad de Sevilla. c/ María de Padilla s/n. 41004. Sevilla. ivallejo@us.es, zujar@us.es

RESUMEN

La utilización de diferentes técnicas vinculadas a las TIGs, posibilita la adopción de nuevas perspectivas en el estudio e interpretación de los sistemas dunares del litoral. En el caso de las dunas activas del Parque Nacional de Doñana, los datos aportados en el presente estudio ayudan a ampliar los criterios para la discusión en torno al origen y funcionamiento de este impresionante complejo dunar. El cálculo de las tasas de avance de las dunas o las de progradación costera, de uso más extendido, se exponen de forma conjunta con otras más novedosas vinculadas a la utilización de los MDEs, que posibilitan la incorporación de variables volumétricas esenciales en el tratamiento de las formaciones dunares. A partir de este tipo de aproximaciones, con datos relativos al volumen total de sedimentos o al balance sedimentario, ha sido posible introducir nuevos elementos de discusión en relación a la cronología del sistema dunar estudiado.

Palabras Clave: MDE, tasas de avance, balance sedimentario, dunas litorales, Doñana

ABSTRACT

Geographic Information Technologies allow new approaches in the study of coastal dunes systems. In the case of the active dune system within Doñana National Park, obtained results give way to new interpretation basis related to its origin and dynamics. Traditional variables as shoreline changes estimation and dune advance rates, are jointly used with volumetric data derived from DEM analysis. These volumetric variables (total sediment volume; sediment budget) are finally used in the context of the chronological scheme which has been drawn for this dune system

Key Words: DEM, advance rates, sediment budget, coastal dunes, Doñana

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de dunas litorales constituyen un tipo de ecosistema de gran interés en relación con el estudio de los cambios ambientales que han tenido lugar en épocas recientes, y, dada su riqueza y significación en términos ecológicos y paisajísticos, así como en cuanto a su papel en la protección de la costa, se hace necesario profundizar en el conocimiento de sus características morfológicas y dinámicas de cara a prever los posibles cambios que pueden experimentar en futuros escenarios.

La irrupción de las tecnologías de información geográfica (TIGs) en el campo de la geomorfología y, concretamente en el caso de los sistemas dunares, (Stephenson y Branderb, 2003; Saye et al, 2005; Mitsova et al, 2006) ha abierto un impresionante abanico de posibilidades en el tratamiento de estos singulares espacios, entre las que merece la pena destacar el establecimiento de escalas intermedias de trabajo, la generalización de los enfoques dinámicos, o la incorporación de la componente volumétrica a través del uso de los modelos digitales de elevaciones (MDEs) (Ojeda et al, 2007).

El caso del sistema de dunas activas del Parque Nacional de Doñana resulta paradigmático en este sentido. Así, a pesar de ser uno de los espacios naturales más importantes de Europa, los estudios sobre la dinámica de sus dunas resultan sorprendentemente escasos, restringiéndose a una serie de estudios pioneros llevados a cabo a

mediados de los 70, en los que se estudian de forma puntual algunos aspectos referidos al avance de los cordones de dunas. El presente trabajo muestra un conjunto de resultados que se derivan de la aplicación de diferentes técnicas vinculadas a las TIGs, que aportan nuevos datos relativos a la dinámica de este complejo dunar, y que constituyen una información complementaria de gran interés de cara a la interpretación de su evolución reciente y futura.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra dentro del P.N. de Doñana y está constituida por el Sistema de Dunas Activas. Este complejo dunar ocupa unos 60 km² y se desarrolla a lo largo de 26 kms de costa entre la localidad de Matalascañas y la desembocadura del Guadalquivir. Ampliamente descrito como una sucesión de trenes de dunas transversales paralelos a la línea de costa (García-Novo et al, 1976), este sistema de dunas comprende una unidad costera (foredune) y una unidad interior, y ha sido identificado como el episodio final en el contexto del Manto Eólico Litoral del Abalario-Doñana; para dicho episodio suele manejarse una cronología moderna, en torno al siglo XVII, haciéndose coincidir su inicio con la construcción de las Torres Almenara que se ubican en esta costa (Borja y Díaz del Olmo, 1996; Montes et al, 1998; Borja et al, 1999).

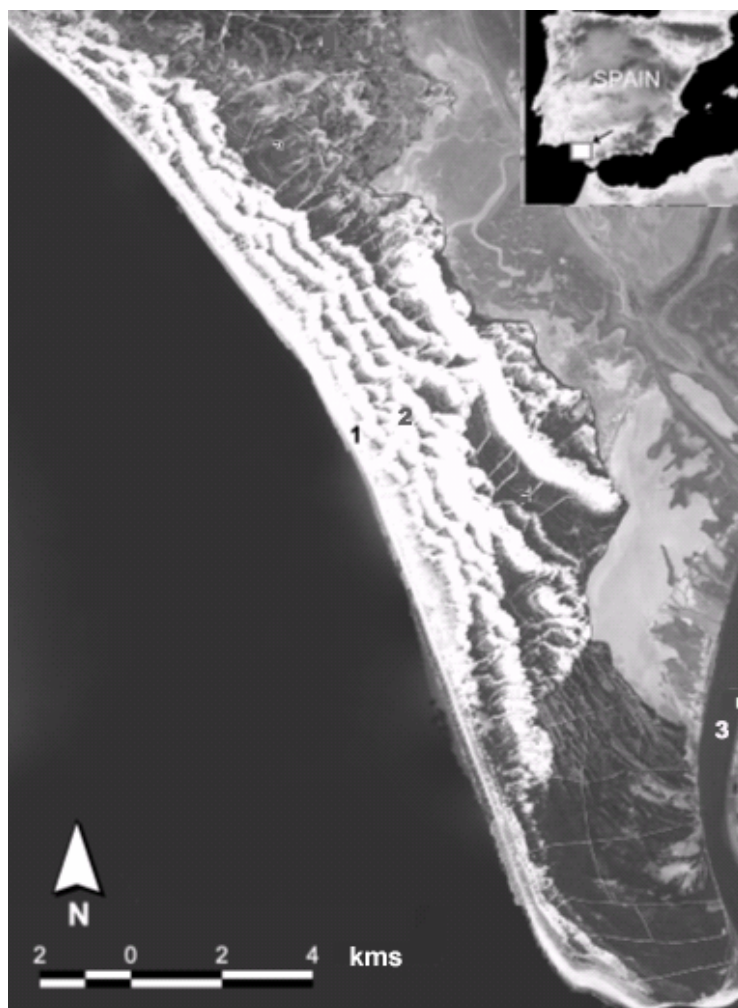


Figura 1. Sistema de dunas activas del P.N de Doñana (1. Unidad costera; 2.Unidad interior; 3.Guadalquivir).

METODOLOGÍA

En este apartado se presenta de forma breve cada una de las fases de que consta la metodología adoptada, en un esquema que, siguiendo la figura 2, incluye una presentación, una exposición de los análisis y tratamientos llevados a cabo y un adelanto de los resultados que se obtiene que son descritos con mayor detalle en el apartado siguiente.

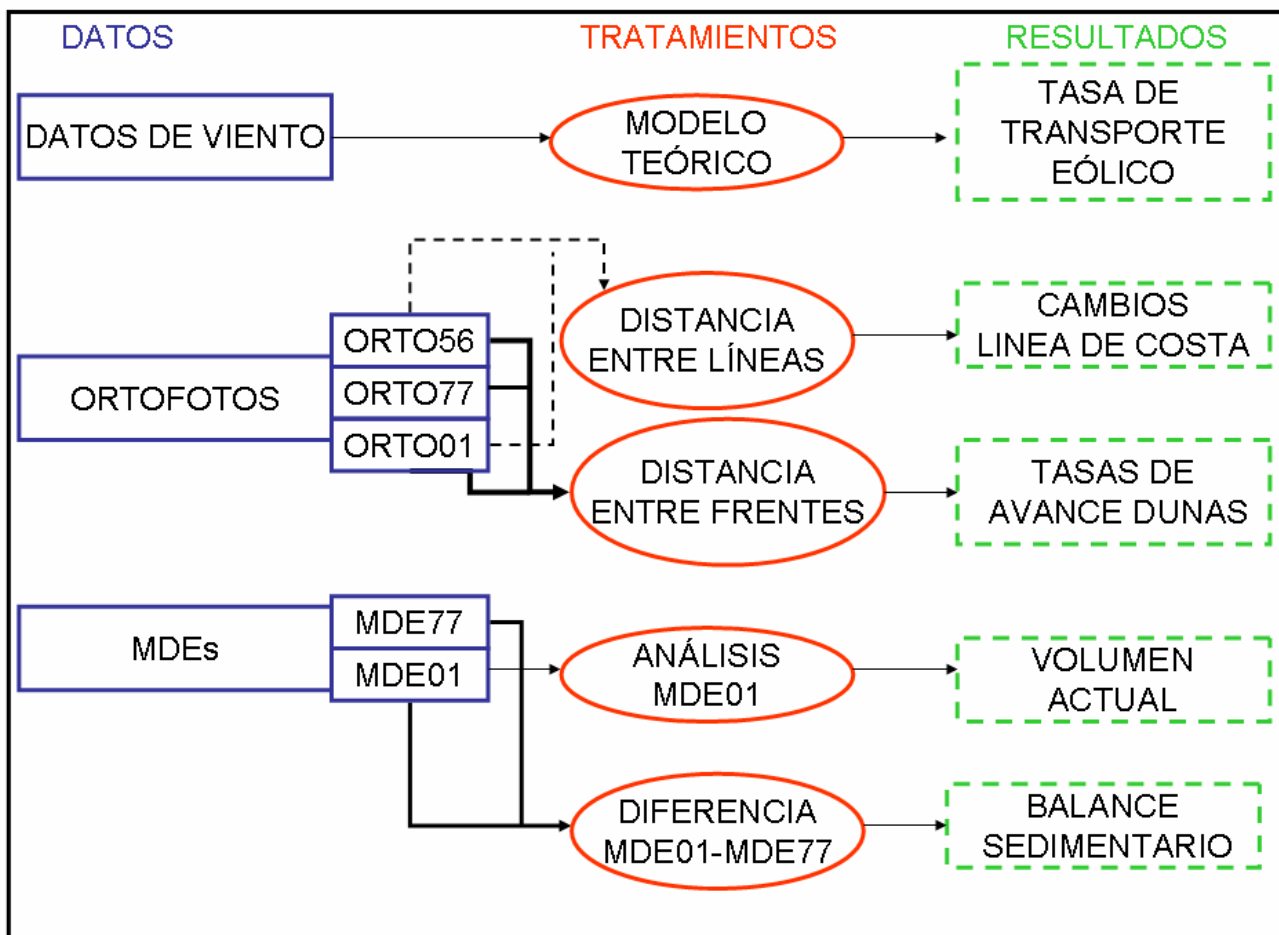


Figura 2. Esquema metodológico

Modelo teórico de transporte

Para este apartado los datos han sido extraídos de las estaciones meteorológicas de El Arenosillo y Chipiona, ambas próximas a la zona de estudio y situadas al norte y al sur de la misma. En el primer caso, se trata de una estación del Instituto Nacional de Meteorología (INM) para la que se contaba con registros de dirección y velocidad de viento tomados cada 10 minutos entre los años 1993 y 2003. Para el caso de Chipiona, la estación pertenece al organismo Puertos del Estado, siendo datos horarios de velocidad y dirección entre los años 1997 y 2004.

En cuanto al modelo teórico de transporte eólico se ha optado por el procedimiento expuesto en Arens et al (2004), que combina la utilización de una ecuación clásica para la cuantificación del transporte eólico (Kawamura, 1951), con el extendido método de Fryberger y Dean (1979) para la obtención de los diferentes parámetros de caracterización de dicho transporte. El método parte de la elaboración de una tabla de frecuencias de doble entrada con 16 direcciones de viento y 10 clases de velocidad. El transporte eólico para cada dirección y clase de velocidad se obtiene utilizando la ecuación de Kawamura,

$$q = C_k \frac{\rho}{g} (U_* - U_{*t})(U_* + U_{*t})^2 \quad (1)$$

donde, q es el transporte eólico en kg/m/s, U_* es la velocidad de fricción, U_{*t} es la velocidad umbral de fricción, g es la aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$), ρ es la densidad del aire ($1,22 \text{ kg/m}^3$) y C_k es una constante empírica introducida por Kawamura (2,78). Para poder aplicar la ecuación (1) falta por conocer las velocidad umbral de fricción (U_{*t}), así como la velocidad de fricción para cada clase de velocidad (U_*). En el primer caso, la velocidad umbral de fricción (U_{*t}) nos indica cual será la velocidad de viento mínima necesaria para que se inicie el transporte eólico. Aunque existen múltiples referencias que hacen uso de una velocidad umbral aproximativa de 16 km/h, ofrecida por Bagnold, hemos preferido utilizar la fórmula que para su cálculo se propone en el Coastal Engineering Manual (USACE, 2004).

Una vez estimados los valores de q para cada clase de velocidad y dirección, se calcula el correspondiente valor de transporte horario qh ($qh = q \cdot 3600$), y se suman los resultados para cada sector direccional (Q_i). La suma de todos los componentes anteriores dará lugar al total de transporte potencial (transporte bruto) o drift potencial (DP) en la nomenclatura de Fryberger. La resultante vectorial de estos mismos componentes dará lugar al transporte potencial neto o resultant drift potencial (RDP), según la siguiente ecuación:

$$RDP = \sqrt{(Q_e)^2 + (Q_n)^2} \quad (2)$$

donde, Q_e y Q_n son el componente este-oeste (e) y norte-sur (n) del transporte potencial, respectivamente, que a su vez vienen dados para 16 direcciones por,

$$Q_e = \sum_{i=1}^{16} Q_i \cdot \sin \theta_i \quad (3)$$

y

$$Q_n = \sum_{i=1}^{16} Q_i \cdot \cos \theta_i \quad (4)$$

Obtención de MDEs y ortofotografías

Las fuentes básicas de datos, en este caso, están constituidas por tres vuelos fotogramétricos correspondientes a los años 1956, 1977 y 2001, con escalas nominales de 1:33.000, 1:18.000 y 1:20.000, respectivamente. El proceso de restitución fue realizado, en los tres casos por la misma empresa (STEREOCARTO, S.I). siguiéndose un mismo procedimiento que se describe brevemente. Una vez los fotogramas son escaneados con un escaner fotogramétrico, se procede a la orientación interior y exterior de los fotogramas, con el apoyo de procesos de aerotriangulación por bloques y puntos de control. A partir de ahí, se procede a la restitución 3D de las principales líneas de estructura de significación geomorfológica (frentes y colas de dunas, límites de depresiones interdunares, etc...) y al proceso de generación de la malla de puntos (10 metros de paso) por estereocorrelación digital. Los datos de la estereocorrelación son posteriormente editados manualmente sobre los modelos fotogramétricos tridimensionales de cada par fotogramétrico. Con los puntos de la estereocorrelación y las líneas de estructura se genera un MDE a partir de la generación de un TIN y su posterior conversión a un formato matricial (GRID de Esri). Este proceso de trabajo, especialmente la utilización de un mismo conjunto de puntos de apoyo -en la medida de lo posible dadas las fechas utilizadas- garantizan un correcto ajuste geométrico entre los MDEs y las ortofotos generadas (los cambios y la calidad de la fotografía original han dificultado este proceso

especialmente en el vuelo de 1956). Una vez obtenidos los MDEs (MDE56, MDE77 y MDE01) se procede a la generación de la ortofoto por un procedimiento digital (ORTO56, ORTO77 y ORTO01).

Cambios en la línea de costa

Para la estimación de los cambios experimentados por la línea de costa en la zona de estudio se han llevado a cabo dos tipos diferentes de mediciones. Las primeras se refieren a una medición sistemática, cada 50 metros, de las distancias entre las líneas de costa fotointerpretadas en las ORTO56 y ORTO01. Las segundas, más restringidas, asumen la posición de la línea de costa que marcan las Torres Almenara del siglo XVII, para realizar mediciones desde dos de estas torres hasta la posición de la costa en la ORTO01. Así, mientras que en el caso de las primeras se trataría de una estimación de las variaciones de la línea de costa en el medio plazo, las segundas tratan de informarnos sobre el comportamiento de la costa en un intervalo de tiempo mucho más amplio. En todos los casos los cambios se expresan en forma de tasas (avance o retroceso) poniendo en relación las distancias medidas con el número de años entre las líneas de costa de referencia.

Avance de los frentes dunares

En el caso de los frentes dunares la técnica empleada es similar a la que se emplea para la línea de costa. Ahora son los frentes de avance los que se fotointerpretan en las tres ortofotografías disponibles (ORTO56, ORTO77 Y ORTO01), segmentándose los correspondientes a 1956 cada 50 metros. Desde cada uno de los puntos obtenidos (3213 puntos) se miden dos grupos de distancias correspondientes a los intervalos temporales 1956-1977 y 1977-2001; las tasas de avance se obtienen dividiendo estas distancias entre 21 y 24 años, respectivamente.

Al igual que en el caso de la línea de costa, asumiendo la posición de las Torres Almenara como la línea de costa, se han medido las distancias desde las mismas, hasta los frentes dunares más internos del actual sistema de dunas activas. Si se asume el momento de la construcción de dichas torres como el inicio del episodio eólico actual, es posible obtener unas tasas de avance a largo plazo para los frentes de avance considerados.

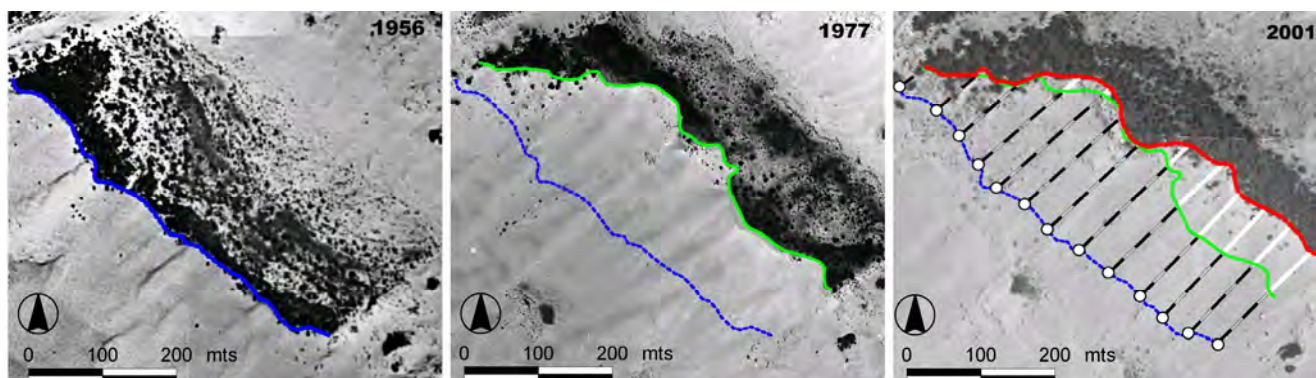


Figura 3. Ejemplo de medición del avance en los frentes dunares

Estimación volumétrica del sistema de dunas activas

Para la obtención del volumen de arena correspondiente al sistema de dunas activas se ha tomado como referencia el MDE01, por ser el más reciente de los disponibles. Teniendo en cuenta que las dunas activas actuales se sitúan sobre una topografía previa definida por la flecha litoral de Doñana y los episodios eólicos anteriores, se hace necesario abstraer del volumen total que ofrece el MDE01, el correspondiente a esa superficie subyacente. Para ello se ha obtenido un nuevo MDE, a partir de las cotas que marcan las depresiones interdunares o corrales, al asumir que las mismas marcan el techo del cuerpo sedimentario sobre el que se sitúan las dunas activas actuales. Para la obtención de este nuevo MDE_BASE, ha sido necesario llevar a cabo un proceso de interpolación que reconstruyese el nivel de la topografía subyacente bajo los cordones de dunas actuales. Ante

esta cuestión la decisión tomada fue la de probar diferentes métodos de interpolación y examinar los resultados que cada uno de ellos ofrecía. Concretamente, de los disponibles en el módulo correspondiente ARCGIS (Spatial Analyst), se estudiaron los resultados ofrecidos por TIN, vecino más próximo y splines (tension), siendo finalmente TIN el método elegido. La razón principal para esta elección se refiere a la mayor homogeneidad que se da a la superficie subyacente en los sectores sin ninguna información, que se localizan, lógicamente, bajo los trenes de dunas. En dichos sectores, TIN suele crear un plano inclinado en todos los casos, mientras que los otros dos interpoladores tienen a crear superficies más complejas que pueden variar de unos trenes a otros. De esta forma, aunque la superficie real subyacente a los trenes de dunas no pueda ser conocida, creemos preferible un tratamiento homogéneo en todos los casos. En la figura 4 se representa un ejemplo de las diferentes superficies generadas por los tres interpoladores utilizados bajo dos cordones de dunas típicos.

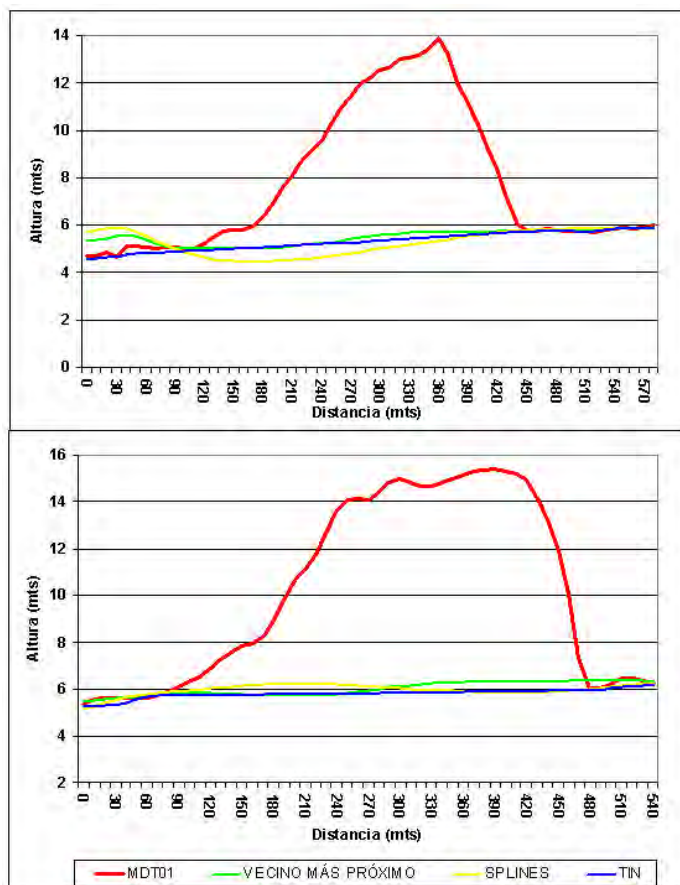


Figura 4. Ejemplo del funcionamiento de diferentes interpoladores en la generación del MDE_BASE

Una vez obtenido el modelo MDE_BASE, se obtiene un nuevo modelo que se ha denominado MDE_ACTIVAS_01, que resulta de una simple operación de diferencia de los modelos MDE01 y MDE_BASE. Este último modelo obtenido es el que permite el cálculo del volumen real correspondientes a las dunas activas.

Balance sedimentario 1977-2001

Frente al cálculo teórico del transporte eólico que se ha realizado mediante datos de viento, la disponibilidad de diferentes MDEs de años distintos abre la posibilidad para otro tipo de estimación de este mismo parámetro a través del balance sedimentario. Para ello, mediante un procedimiento similar al explicado en el punto anterior, se ha procedido a la generación de un nuevo MDE para las dunas activas en 1977 (MDE_ACTIVAS_77). Posteriormente, sólo para la extensión de la duna costera de los años 1977 y 2001, se ha

realizado una diferencia entre ambos MDEs, cuyo resultado puede traducirse en el volumen de arena que se ha incorporado al sistema en los 24 años transcurridos.

RESULTADOS

El conjunto de resultados obtenidos se expone de forma sintética para cada uno de los epígrafes considerados en la metodología, comentándose posteriormente en el apartado de discusión.

Transporte eólico teórico

Los datos de transporte neto (DP) obtenidos para la estación de Arenosillo mostraban unas tasas de transporte excesivamente bajas, lo que posiblemente se explique por una inadecuada ubicación del anemómetro (INM, comunicación personal). En el caso de Chipiona, el transporte neto se ha estimado en 8.322,2 kg/m/año, lo que se traduce en términos volumétricos en 3,14 m³/m/año, con una densidad de la arena de 2.650 Kg/m³. La incorporación anual de arena al sistema, considerando los 26 kms de la costa, arrojaría una cifra de 81.640 m³. Esta cifra parece ciertamente baja, si consideramos que las estimaciones de la deriva litoral en esta zona alcanzan los 300.000 m³.

Cambios en la línea de costa

Tal como ya ha sido puesto de manifiesto en diferentes trabajos, la costa del área de estudio muestra un claro comportamiento progradante, más acusado conforme nos acercamos a la zona de la desembocadura del Guadalquivir. En términos medios la tasa de avance se ha estimado en 1,2 mts/año entre los años 1956 y 2001. Considerando únicamente los puntos vinculados a las Torres Almenara de Carbonero y Zalabar, la comparación entre las medidas a largo y corto plazo arrojan las siguientes cifras. Entre 1956 y 2001, las tasas de avance en ambos puntos son de 0,5 mts/año y 1,44 mts/año, respectivamente. Por su parte, si se toma como año de referencia 1600 y se mide la distancia de las torres a la actual línea de costa, las tasas, aunque claramente positivas, caen a 0,3 mts/año y 1,02 mts/año, respectivamente.

Tasas de avance de los frentes dunares

Las mediciones llevadas a cabo sobre el desplazamiento de los frentes dunares en el último medio siglo, muestran un descenso significativo de la velocidad media de avance. Así, para 1.200 puntos en los que se midieron desplazamientos en los dos períodos de referencia (1956-1977 y 1977-2001), las tasas de avance caen de 2,37 mts/año a 1,27 mts/año.

La posibilidad de que este descenso en las tasas de avance se pueda incluir en una tendencia histórica más a largo plazo, quedaría respaldada por las mediciones que se han realizado entre los cordones activos más internos y la línea de costa histórica representada por las Torres Almenara. En estos casos, los desplazamientos experimentados por estos cordones dunares responderían a velocidades que se sitúan por encima de los 7 mts/año.

Volumen de arenas en el sistema de dunas activas

El volumen de sedimentos correspondientes a las dunas activas ha sido calculado a partir del MDE_ACTVAS_01, obteniéndose una cifra total de 213,7 Hm³. Volviéndose a tomar la fecha de referencia de 1600, como inicio del presente episodio eólico, la tasa de entrada de sedimentos anual habría que elevarla a 532.917,7 m³/año.

Balance sedimentario 1977 – 2001

Frente a las cifras anteriores, si se procede a estimar la cantidad de arena incorporada al sistema de dunas entre 1977 y 2001, a través de una diferencia de los modelos correspondientes, las magnitudes obtenidas son más discretas. Así, ante una diferencia volumétrica total de $5.979.188 \text{ m}^3$, la tasa anual resultante arrojaría un volumen de $249.132,8 \text{ m}^3$, bastante más coherente con los 300.000 m^3 anteriormente señalados para la deriva litoral en la zona de estudio.

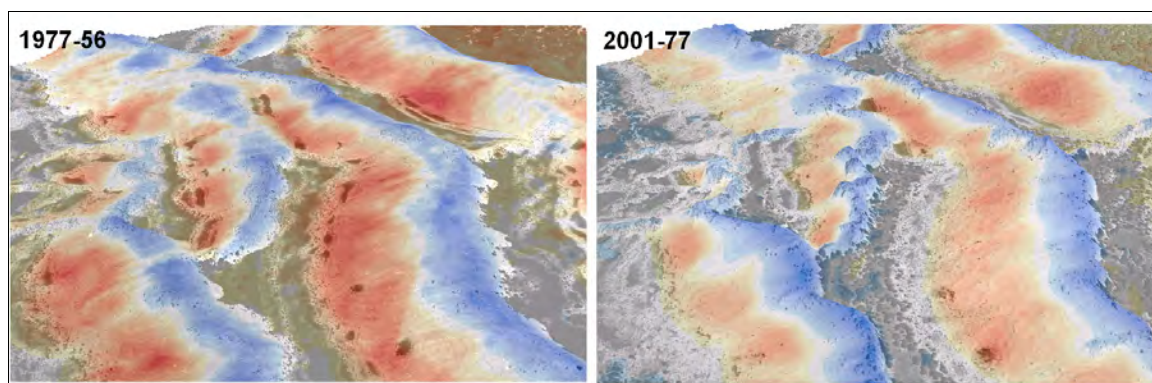


Figura 5. Ejemplo de cálculo de balance sedimentario (rojo=deflación; azul=acumulación)

DISCUSIÓN

De todos los datos que se han expuesto en los resultados anteriores, aquellos referidos a la disminución de las tasas de avance de los frentes dunares son los que más fiabilidad nos merecen y, de hecho, junto con otro tipo de evidencias para los mismos periodos de referencia (aumento superficial de las depresiones interdunares, cambios en el perfil de los cordones dunares), han sido esgrimidos como una prueba de la ralentización a que se están viendo sometidos los frentes de avance de las dunas activas en Doñana (Vallejo Villalta, 2007).

Más discusión generan las cifras relativas al volumen total de arenas contenido en el sistema de dunas activas y, sobre todo, las tasas de entrada anual de sedimento que de las mismas se deriva. Dos hipótesis básicas cabe plantearse en este sentido.

En primer lugar, si se asume la fecha de 1600 como inicio del episodio eólico actual, incluyendo la incorporación de todo el volumen de arena estimado, deben asumirse unas condiciones ambientales radicalmente distintas a las actuales. Así, la entrada anual de $532.917,7 \text{ m}^3$ de arena implica un drástico cambio en las condiciones de la deriva litoral y, a su vez, unas tasas de transporte eólico significativamente mayores que las que se dan actualmente. Todo ello vendría a estar apoyado por otros datos. Por un lado, las tasas de avance estimadas para los trenes de dunas más internos, superiores a los 7 mts/año, implicarían unas mayores tasas de transporte eólico y, en estrecha relación con ello, una intensa disminución de la vegetación que parece concordar con los datos históricos existentes y que se esgrime como un factor esencial en el inicio de esta fase de avance dunar. Para explicar este mayor potencial eólico se apela al contexto de uno de los períodos secos de la Pequeña Edad de Hielo, que tendría lugar en la primera mitad del siglo XVIII (Sousa y García, 2005), mientras que la disminución de la cubierta vegetal estaría vinculada, fundamentalmente, con una intensificación de diferentes prácticas antrópicas que supusieron talas y arranques masivos en el sector de la duna costera (Granados, 1987). La coincidencia de ambas circunstancias supondría una mayor entrada de aportes al sistema dunar, una mayor velocidad en el avance de los trenes dunares y, tal como parecen sugerir las tasas históricas de progradación costera, un más modesto avance de la línea de costa motivado por la incapacidad de la vegetación de mantener fijado un primer frente de dunas.

En segundo lugar, si se cuestiona la fecha de inicio del presente episodio dunar y se asumen las tasas de incorporación sedimentaria actuales como representativas de unos niveles medios (249.132,8 m³), habría que retrotraer dicho inicio a principios del siglo XII, para que hubiese tiempo suficiente de acumular el volumen de arenas estimado (213,7 Hm³).

Desde nuestro punto de vista, basándonos en diversos trabajos previos, el inicio de presente episodio eólico está bien situado cronológicamente en torno a principios del siglo XVII; no obstante, esto no implicaría que la totalidad del volumen de arena estimado se haya incorporado al sistema desde este inicio, sino que en el mismo deben considerarse tanto los nuevos aportes, como los procedentes de formaciones dunares pertenecientes a episodios eólicos anteriores, que son reactivadas tras un cambio en las condiciones ecológicas del entorno. Desde ese momento, tanto los ritmos de incorporación sedimentaria, como las tasas de avance de los frentes dunares habrían ido disminuyendo progresivamente. En el caso de estas últimas, la comparación de los dos periodos de referencia, 1956-1977 y 1977-2001, con tasas decrecientes de 2,37 mts/año y 1,27 mts/año, respectivamente, debe entenderse como una muestra de esta tendencia a la progresiva desaceleración de la actividad eólica. El propio aumento de las tasas de avance en la línea de costa, también puede esgrimirse como una mayor capacidad por fijar el primer frente dunar, motivando, a su vez, un descenso en la entrada de aportes al sistema. Como causas de todo este proceso, y con independencia de las variables naturales, más difíciles de rastrear, debe apuntarse a una progresiva recuperación de la vegetación en todo el sistema dunar. El primer hito de esta recuperación vendría de la mano de la siembra de pino piñonero en las depresiones interdunares o corrales; efectivamente, desde las primeras plantaciones en la primera parte del siglo XVIII, las poblaciones de pinos se han extendido con gran eficacia, hasta conformar densas agrupaciones que, aún permitiendo el avance de los frentes dunares (García-Novo et al, 1976), hacen disminuir, sin lugar a dudas, su velocidad. Un segundo factor hay que vincularlo con la disminución de otros tipos de actividades antrópicas, como la almadraba en la costa, la recolección de leña o el arranque de barrón (*ammophila arenaria*), de gran incidencia en la recuperación de la vegetación en la duna costera. Finalmente, una progresiva decadencia de la actividad ganadera en el conjunto del entorno y, la propia declaración de Parque Nacional, incidirían en la misma línea de disminución de toda actividad humana, con la consiguiente expansión de una vegetación que, lógicamente, suele potenciar los procesos de estabilización dunar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arens, S.M.; Slingsc, Q. y De Vriesc, C.N. (2004): Mobility of a remobilised parabolic dune in Kennemerland, The Netherlands. *Geomorphology*, 59: 175–188.
- Borja, F.; Zazo, C.; Dabrio, C. J.; Diaz del Olmo, F.; Goy, J. L.; Lario, J. (1999): Holocene aeolian phases and human settlements along the Atlantic coast of southern Spain. *The Holocene*, 9 (3): 333–339.
- Fryberger, S.G. y Dean, G. (1979): Mechanisms for the formation of aeolian sand seas. En: McKee, E.D (Ed.), *A Study of Global Sand Seas*. United States Geological Survey, Professional Paper, Vol. 1052. Washington, pp 137-169.
- García-Novo, F.; Ramírez-Díaz, L. y Torres-Martínez, A. (1976): El sistema de dunas de Doñana. *Naturalia Hispanica*, 5: 1-52.
- Granado, M. (1987): *Transformaciones históricas de los ecosistemas del Parque Nacional de Doñana*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla. Sevilla, 485 pp.
- Kawamura, R. (1951): Study on blow-sand by wind. [Traducción al inglés en Nagahama, L y Hiraoka, H. 1964: Research Technical Reports, HEL, 2-8. University of California, Berkeley, pp 99-108.]

- Mitasova, H., Overton, M. y Harmon, R. S. (2005): Geospatial analysis of a coastal sand dune field evolution: Jockey's Ridge, North Carolina. *Geomorphology*, 72: 204-221.
- Montes, C.; Borja, F.; Bravo, M. A. y Moreira, J. M. (Coords.) (1998): *Reconocimiento biofísico de espacios naturales protegidos. Doñana: una aproximación ecosistémica*. Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente, Sevilla, 311 pp.
- Ojeda Zújar, J.; Vallejo Villalta, I.; Hernández Calvento, L. y Álvarez Francoso, J. (2007): Fotogrametría digital y lidar como fuentes de información en geomorfología litoral (marismas mareales y sistemas dunares): el potencial de su análisis espacial a través de SIG. *Boletín de la A.G.E.*, 44: 215-233.
- Saye, S.E., van der Wal, D., Pye, K. y Blott, S.J. (2006): Beach-dune morphological relationships and erosion/accretion: an investigation at five sites in England and Wales using LIDAR data. *Geomorphology*, 72 (1-4): 128-155.
- Sousa, A y García, P. (2005): *Historia ecológica y evolución de las lagunas peridunares del Parque Nacional de Doñana*. Parque Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 169 pp.
- Stephenson, W. J. y Branderb, R. W. (2003): Coastal geomorphology into the twenty-first century. *Progress in Physical Geography*, 27 (4): 607-623.
- USACE, (2002): Coastal Engineering Manual. U.S. Army Corps of Engineers:
http://users.coastal.ufl.edu/~sheppard/eoc6430/Coastal_Engineering_Manual.htm
- Vallejo Villalta, I. (2007): *Caracterización geomorfológica y análisis de la evolución reciente del sistema de dunas activas del P.N de Doñana (1956-2001)*: Tesis doctoral. Universidad de Sevilla, Sevilla, 468 pp.

Vía García, Miguel y Muñoz Municio, Carmen (2008): Propuesta de nuevos espacios protegidos en la comunidad de Madrid a partir de metodologías multicriterio flexibles. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 791-805. ISBN: 978-84-96971-53-0.

PROPUESTA DE NUEVOS ESPACIOS PROTEGIDOS EN LA COMUNIDAD DE MADRID A PARTIR DE METODOLOGÍAS MULTICRITERIO FLEXIBLES

Vía García, Miguel y Muñoz Municio, Carmen

Centro de Investigaciones Ambientales de la Comunidad de Madrid "Fernando González Bernáldez" C/Almendra, 2. 28791 Soto del Real (Madrid). miguel.via@madrid.org, carmen.mmunicio@madrid.org

RESUMEN

En las últimas dos décadas, el territorio protegido de la región de Madrid ha aumentado hasta alcanzar aproximadamente un 44% de la superficie regional. La escasez de trabajos ambientales en los espacios no protegidos, junto a la presión urbana que ejerce sobre estos territorios la gran ciudad de Madrid, hacen que posibles áreas valiosas puedan desaparecer si no se las protege. El propósito de este trabajo es conocer esa otra parte del territorio que en la actualidad está excluida de la red de protección y proponer aquellos lugares que presenten un mayor valor ambiental, como posibles nuevos espacios protegidos o ampliación de los existentes. Se ha elaborado un documento de referencia con una cartografía de suficiente detalle, que supone una herramienta de gran utilidad en la planificación y gestión sostenible de estos territorios.

Para abordar el proyecto se ha realizado una valoración ambiental de los recursos naturales mediante la utilización de los SIG y de una metodología multicriterio flexible (Medias Ponderadas Ordenadas). A partir de la valoración final se han detectado varias zonas con un considerable valor ambiental que se proponen como posibles espacios a proteger.

Palabras Clave: SIG, Evaluación Multicriterio, Espacios Protegidos, Valoración Ambiental

ABSTRACT

In the last few decades, the percentage of protected land in the Madrid autonomous region has increased to approximately 44%. The lack of environmental activities in the unprotected areas, together with the pressure exerted on these territories by the city of Madrid could lead to the disappearance of potentially valuable areas if these are not protected. The aim of the current study is to propose the other part of the territory currently excluded from the protection network and to propose the places presenting the highest environmental values as spaces for potential protection or for enlargement of the existing ones. We have drawn up a reference document, along with sufficiently detailed cartography; these elements constitute very useful tools for the sustainable planning and management of these territories.

In this project, we conducted an environmental assessment of the natural resources by means of GIS and of a flexible multi-criteria methodology (Ordered Weighted Average). We made use of the final assessment to detect several zones with considerable environmental values, which we propose as areas for potential protection status.

Keywords: SIG, Multi-criteria Evaluation, Protected Areas, Environmental Assessment

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El interés social por la conservación y el uso sostenible del patrimonio natural y la biodiversidad se ha ido incrementando a lo largo de los últimos años. La respuesta por parte de las administraciones públicas ha sido la creación de espacios protegidos con valores naturales relevantes con el objetivo de preservar áreas ambientalmente valiosas de los crecientes procesos de industrialización y urbanización. El resultado de esta

política de conservación en la Comunidad Autónoma de Madrid ha sido la protección, bajo alguna de las múltiples figuras existentes, del 44% del territorio madrileño.

Sin embargo, la existencia de estas áreas protegidas no implica que el territorio que está fuera de sus límites quede al margen de la gestión y conservación de los recursos naturales, siendo necesaria una gestión global del territorio, ya que de esta gestión dependerá, en gran medida, el cumplimiento de los objetivos de conservación de los espacios protegidos. Además, estas zonas no protegidas pueden albergar importantes valores naturales y paisajísticos que podrán ser tenidos en cuenta en futuras ampliaciones de espacios ya existentes o incluso en la protección de nuevos territorios.

El objetivo principal de este estudio es la valoración de los recursos naturales de las áreas no protegidas de la Comunidad de Madrid y la localización de espacios singulares con una alta calidad ambiental y un buen estado de conservación. Para abordarlo se han aplicado técnicas de evaluación multicriterio en el entorno de Sistemas de Información Geográfica.

ÁMBITO DE ESTUDIO

El ámbito de estudio abarca las áreas no protegidas de la Comunidad de Madrid (Figura 1), a excepción de las áreas urbanas y urbanizables que constituyen el 16,8% de la región. Tiene una extensión de 312.279 ha lo que supone el 38,9% de la comunidad. El resto del territorio, un 44,3%, se encuentra protegido bajo diferentes figuras: Espacios Naturales Protegidos, LICs, ZEPAs, Reservas de la Biosfera y el ámbito del Plan de Ordenación de Recursos Naturales de la Sierra de Guadarrama, exceptuando las zonas de transición.

Se extiende por todas las comarcas madrileñas aunque es la zona sureste la que aporta mayor superficie al ámbito de estudio. Los usos del suelo más extensos son los cultivos de secano y los pastos, seguidos por los cultivos de regadío y los encinares arbóreos y arbustivos.

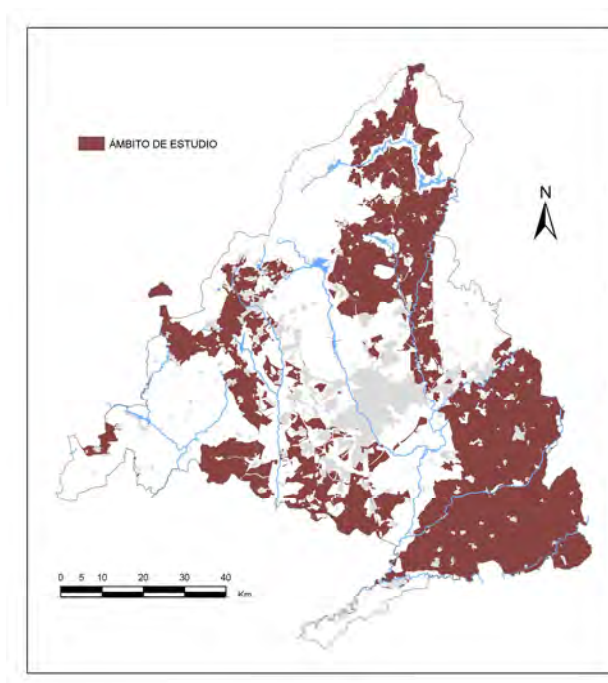


Figura 1. Ámbito de estudio.

METODOLOGÍA

Para la realización de este estudio se ha seguido una sistemática de trabajo jerárquica estructurada en diferentes fases. Tras una primera fase de delimitación del ámbito de estudio, se ha realizado el inventario de toda la información disponible en relación a los recursos naturales. A continuación, se han seleccionado la escala de trabajo y los indicadores de valoración considerados más adecuados para valorar los diferentes recursos naturales. El siguiente paso ha sido la integración de las valoraciones sectoriales por recursos naturales y la obtención del mapa final de valoración.

Los indicadores de valoración seleccionados para cada recurso natural son los factores de cada submodelo. Tras un proceso de ponderación, a través de la consulta a expertos, se realiza la integración multicriterio. El modelo de valoración se apoya en la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica y utiliza la metodología multicriterio denominada Medias Ordenadas Ponderadas u Ordered Weighted Average (OWA), que se caracteriza por su flexibilidad en relación al ajuste de la compensación entre factores.

La normalización de las variables es un paso de gran importancia para la aplicación de los modelos multicriterio. A las diferentes funciones de correlación entre los valores del indicador y el valor real, se les denomina funciones de transformación. Son una herramienta de tratamiento de la información que dota de valor o significado a los puntos del territorio con el objeto de definir la calidad, fragilidad, capacidad de acogida e impactos ambientales. Estas funciones, a su vez, permiten homogeneizar las diferentes unidades de medida de los factores afectados por el proyecto y expresarlas en unidades abstractas de valor ambiental (Conesa, 1997). Para este trabajo se ha utilizado un ajuste lineal para todas las variables utilizadas, siguiendo un criterio de operatividad.

La siguiente fase de gran importancia para la correcta integración multicriterio, es la ponderación de los factores. Para asignar los pesos, se ha realizado una consulta a expertos en la materia y se ha optado, dentro de la amplia gama de métodos de asignación de pesos, por utilizar el método de las jerarquías analíticas o comparación por pares (Saaty, 1977).

La metodología multicriterio escogida para realizar el análisis es una metodología flexible en relación a la compensación entre factores. Esta metodología, denominada OWA, se incluye dentro de las técnicas de superposición o agregación borrosa (Malczewski, 1999). La compensación se puede producir con mayor o menor intensidad en función de la elección del centro decisor, a través de la selección de lo que se denominan pesos de los órdenes. En este método intervienen junto a los pesos de los factores otorgados por los expertos, un conjunto de pesos asignados no a los factores en sí, sino a la posición en el rango ordenado de los valores del factor para una localización (píxel) dada. En nuestro caso, el factor con la puntuación de valoración más alta será el primer peso ordenado, el factor con el siguiente valor más alto tendrá el segundo peso ordenado y así sucesivamente. El peso otorgado a los órdenes es decreciente, siendo los primeros ordenes los que presentan un mayor peso. Por lo tanto, los factores que en cada celda presenten los valores más altos tendrán un mayor peso en el resultado final. Si se da el mismo peso a todos los órdenes, la metodología OWA funciona como una metodología totalmente compensatoria, ya que para el resultado final no importa que un criterio tenga un valor más alto que otro.

$$a = \sum x_i \left(\frac{w_i * o_i}{\sum (w * o)_i} \right) * \prod r_j$$

siendo:

a = valor de impacto, x_i = valor de la celda i en el factor i , w = es el peso de los factores, w_i = es el peso del factor i , o = peso de los órdenes, o_i = es el peso ordenado del factor i en la celda i , r_j = son las restricciones

Espacios con alto valor ambiental, no sólo se corresponden con lugares de alto valor en todos los factores o indicadores. El hecho de que un sólo factor sea muy positivo, puede dotar a ese lugar de singularidad y por lo tanto, de alta calidad ambiental. En este sentido, se ha considerado para este trabajo, que la utilización de una metodología con una clara reducción de la compensación, ponderando positivamente los indicadores con valores más altos, refleja de una manera más eficiente el valor ambiental de un espacio.

Una falta total de compensación supondría que el resultado final para cada celda sería el valor del factor con un mayor valor, obviando los valores del resto de criterios, algo que implicaría una pérdida importante de información. Se considera que optar por una solución intermedia entre la compensación total y la no compensación es la solución más eficaz para lograr un buen resultado en cualquier valoración ambiental.

VALORACIONES SECTORIALES

Se ha optado por realizar valoraciones sectoriales (submodelos) por factores ambientales, realizando una valoración final a partir de la integración de las valoraciones obtenidas para cada factor (modelo final). Los tres factores ambientales seleccionados han sido la flora y vegetación, la fauna y los recursos hídricos. Se ha considerado que son los tres factores ambientales básicos que informan de una forma más precisa y objetiva del valor ecológico de un espacio. Se podrían haber incorporado variables como el paisaje, pero debido a la subjetividad del concepto y a que es síntesis de los parámetros utilizados, se consideró no adecuada su inclusión. Factores como la geología, edafología, etc. no se incorporan por falta de información respecto a indicadores de valoración y a que, en muchos casos, los parámetros bióticos informan sobre la distribución y singularidad de estos.

VEGETACION Y FLORA

El valor de la flora y la vegetación constituye un indicador fundamental del valor ambiental de un territorio y de su estado de conservación. La sistemática de trabajo utilizada para esta valoración ha consistido en realizar de forma independiente la valoración de la flora y de las formaciones vegetales, obteniendo el mapa de valoración final a partir de la integración de estas dos valoraciones (Vía García *et al.*, 2007a). Esta metodología se ensayó previamente en el ámbito del Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Sierra de Guadarrama (Gil *et al.*, 2003) como base para el establecimiento de una figura de protección.

Los pesos de cada indicador se han obtenido mediante la aplicación de la metodología denominada comparación por pares (Saaty, 1977) en una consulta a doce especialistas en vegetación y flora. La consulta incluía tres cuestiones diferentes. Por un lado, debía establecer la importancia de cada uno de los cuatro indicadores seleccionados para valorar la vegetación. Por otro lado, realizaron el mismo trabajo con los cinco indicadores relativos a la flora y, por último, evaluaron qué indicador –flora o vegetación- tenía más importancia y en qué medida.

Valoración de la vegetación

Para la realización del mapa de valoración de la vegetación (Figura 2) se han empleado los siguientes indicadores: Representatividad de la formación vegetal, Naturalidad, Rareza a nivel local y Rareza a nivel nacional. Los pesos otorgados por los expertos a cada uno de los indicadores han sido:

Rareza a nivel nacional.....	0.52
Rareza a nivel local.....	0.23
Representatividad.....	0.15
Naturalidad.....	0.10

Los pesos de órdenes utilizados en la metodología OWA que reducen la compensación en la integración son los siguientes: 1^{er} orden: 0.55, 2^o orden: 0.25, 3^{er} orden: 0.15, 4^o orden: 0.05

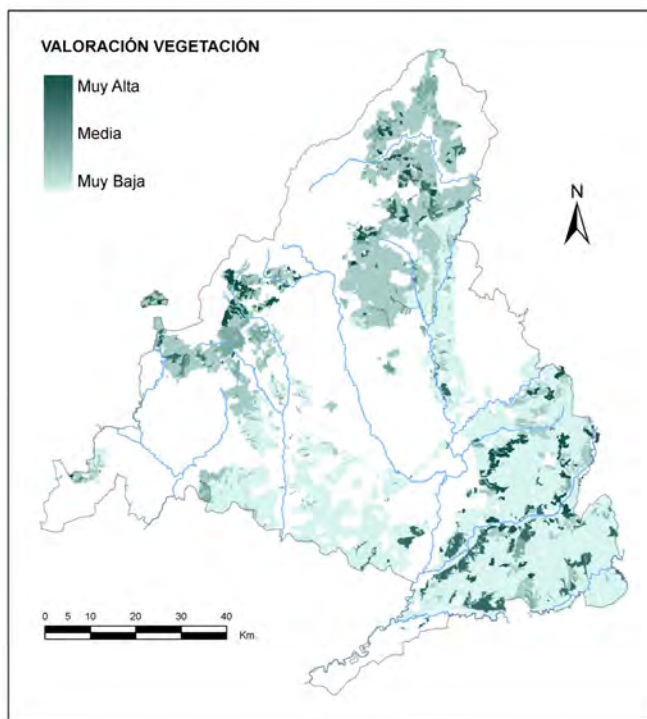


Figura 2. Mapa de valoración de la vegetación.

Valoración de la flora

Para la realización del mapa de valoración de flora (Figura 3) se han empleado los siguientes indicadores: Flora endémica, Flora amenazada a nivel regional, Flora amenazada a nivel nacional, Flora protegida a nivel regional y Flora protegida a nivel europeo.

La ubicación de las especies singulares de flora está referida a cuadrículas UTM de 10x10 km (Casado *et al.*, 2006). Se ha generado un mapa raster continuo con una gradación de la valoración mediante un proceso de interpolación a partir de los centroides de dichas cuadrículas.

Los pesos otorgados por los expertos a cada uno de los indicadores de flora son los siguientes:

Flora amenazada a nivel nacional	0.45
Flora amenazada a nivel regional.....	0.19
Flora protegida a nivel europeo.....	0.17
Flora protegida a nivel regional	0.10
Flora endémica.....	0.09

Los pesos de órdenes utilizados son los siguientes: 1^{er} orden: 0.45, 2^o orden: 0.25, 3^{er} orden: 0.15, 4^o orden: 0.10, 5^o orden: 0.05

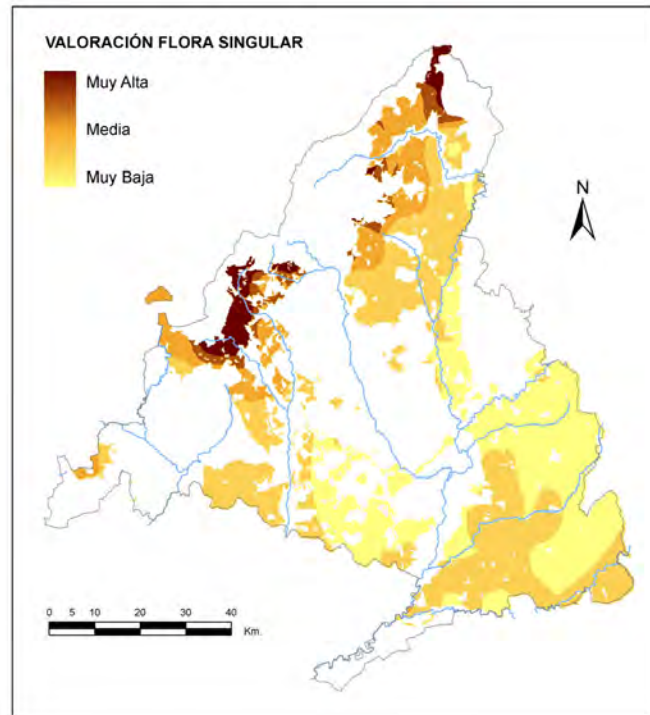


Figura 3. Mapa de valoración de la flora.

Valoración final

Para generar el mapa de valoración final de Vegetación y Flora (Figura 4) se han utilizado los siguientes pesos en los dos indicadores sintéticos de valoración generados con anterioridad:

Vegetación.....0.57
Flora Singular.....0.43

Los pesos de órdenes utilizados en la metodología OWA son los siguientes: 1^{er} orden: 0.70 y 2^o orden: 0.30

En la integración multicriterio de la vegetación y la flora no se han normalizado los resultados de las valoraciones previas, manteniéndose en cada caso los valores obtenidos.

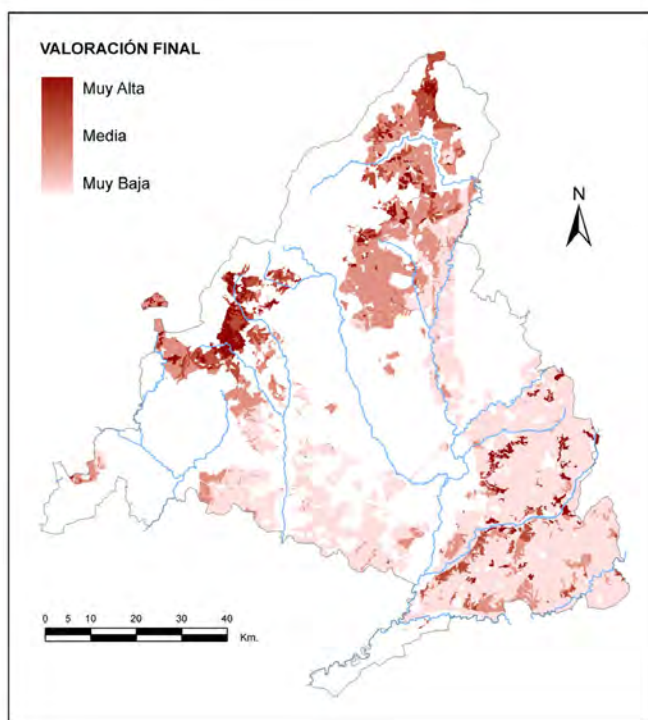


Figura 4. Mapa de valoración final de la flora y vegetación.

FAUNA

La valoración de la fauna se ha basado en la valoración de los hábitats de todas las especies incluidas en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de la Comunidad de Madrid (Vía García *et al.*, 2007b). Para ello se ha elaborado un mapa de hábitats a escala 1:5000 en el que se han diferenciado 17 unidades. La información sobre la presencia constatada de estas especies en cuadrículas de 10x10 km (Casado *et al.*, 2006), así como su distribución potencial, se han trasladado a este mapa de hábitats mediante técnicas de superposición espacial.

Los indicadores de valoración seleccionados han sido: Riqueza de especies catalogadas, Índice riqueza/potencialidad, Superficie del hábitat, Fragmentación del hábitat y Forma del hábitat. También se ha tenido en cuenta la categoría concreta de protección en la que se encuentra cada especie.

Para obtener los pesos de cada indicador se ha realizado una consulta a siete expertos en fauna. Los resultados han sido los siguientes:

Importancia de las diferentes categorías de protección del Catálogo Regional.

En peligro de extinción.....	0.60
Sensibles a la alteración de su hábitat.....	0.21
Vulnerables.....	0.11
Interés especial.....	0.07

Valoración final de los hábitats faunísticos.

Riqueza.....	0.32
Índice riqueza/potencialidad.....	0.26
Superficie.....	0.17
Fragmentación.....	0.14
Forma.....	0.11

Siguiendo la metodología general del trabajo se ha optado por reducir el grado de compensación de la integración multicriterio OWA de una manera importante utilizando los siguientes pesos de órdenes: 1^{er} orden: 0.45, 2^o orden: 0.25, 3^{er} orden: 0.15, 4^o orden: 0.10, 5^o orden: 0.05.

El resultado final de la valoración de la fauna (Figura 5) será utilizado como un factor más en la valoración ambiental final.

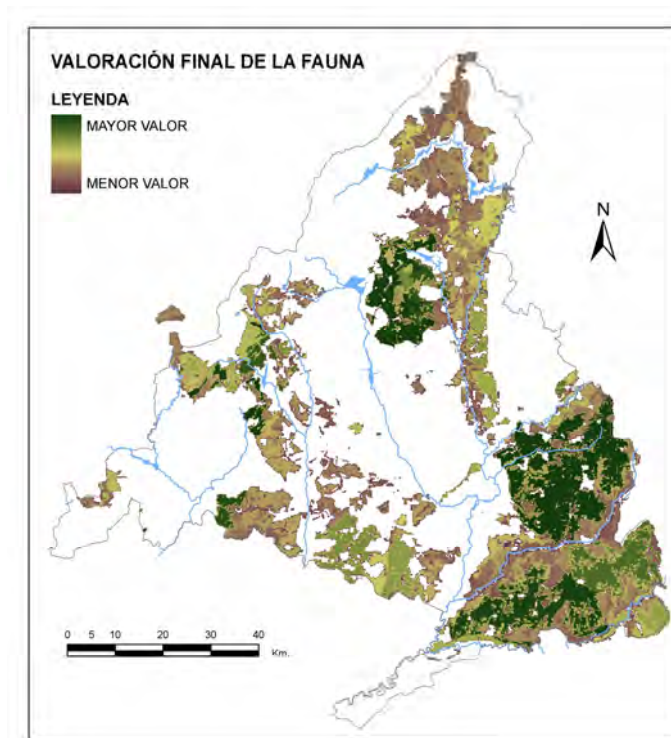


Figura 5. Mapa de valoración de fauna.

RECURSOS HÍDRICOS

El objetivo principal de esta valoración es detectar aquellos espacios de alto valor hidrográfico, teniendo en cuenta sus características hidrológicas. El resultado final de la valoración es la integración de dos submodelos previos que son: la valoración de la hidrología superficial y la valoración de la hidrogeología. La información utilizada en cada uno de los indicadores se ha obtenido del Sistema de Documentación para la Planificación Territorial (Muñoz Municio y Vía García, 2005).

Valoración hidrología superficial

Los indicadores utilizados para realizar esta valoración han sido: Porcentaje de superficie urbana en la cuenca, Porcentaje de superficie cultivada en la cuenca del tramo fluvial, Presencia de red hídrica o superficies de agua, Tramos regulados por la existencia de presas.

Para generar el mapa de valoración final se han utilizado los cuatro indicadores seleccionados, optando por dar el mismo peso a cada uno de ellos. La integración multicriterio se ha realizado aplicando los siguientes pesos de órdenes: 1^{er} orden: 0.55, 2^o orden: 0.25, 3^{er} orden: 0.15, 4^o orden: 0.05

Valoración hidrogeológica

Los indicadores que se han utilizado para esta valoración han sido la capacidad de almacenaje de agua del sistema hidrogeológico y la calidad de las aguas del sistema hidrogeológico. La información relativa a estas variables se ha obtenido del Plan Integral del Agua de Madrid (Comunidad de Madrid, 1984).

Para generar el mapa de valoración final se han utilizado los dos indicadores seleccionados, optando por dar el mismo peso a cada uno de ellos. La integración multicriterio se ha realizado aplicando los siguientes pesos de órdenes: 1^{er} orden: 0.70, 2^o orden: 0.30

Valoración final

El mapa final de valoración de los recursos hídricos (Figura 6) es el resultado de la integración multicriterio de la valoración de la hidrología superficial y de la hidrogeología, y se ha optado por dar el mismo peso a cada una de las dos valoraciones. Los pesos de órdenes utilizados son los siguientes: 1^{er} orden: 0.70, 2^o orden: 0.30

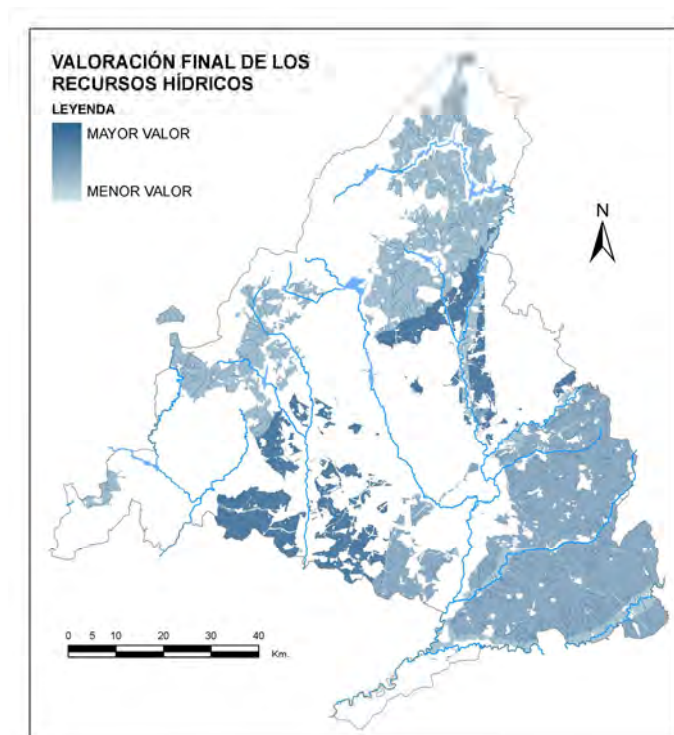


Figura 6. Mapa de valoración final de recursos hídricos.

VALORACIÓN AMBIENTAL FINAL

La valoración final (Figura 7) constituye una herramienta muy útil para la planificación y ejecución de futuras actuaciones ya que identifica y ubica zonas ambientalmente valiosas, lo que permitirá minimizar los impactos negativos que sobre ellas pudieran darse. A partir de esta cartografía final se pueden realizar propuestas concretas de ampliación de espacios protegidos, de creación de nuevos, así como utilizarla de base para la evaluación y minimización del impacto de futuros proyectos.

Una vez realizadas las valoraciones parciales de flora-vegetación, fauna y recursos hídricos se procedió a su integración siguiendo la misma metodología multicriterio aplicada a lo largo de todo el estudio.

Se ha optado por dar el mismo peso a los tres factores ambientales utilizados en la valoración, considerándolos igual de importantes. Siguiendo el mismo criterio metodológico, para reducir la compensación entre los criterios se han utilizado los siguientes pesos de órdenes en la integración multicriterio OWA: 1^{er} orden: 0.50, 2^o orden: 0.30 y 3^{er} orden: 0.20

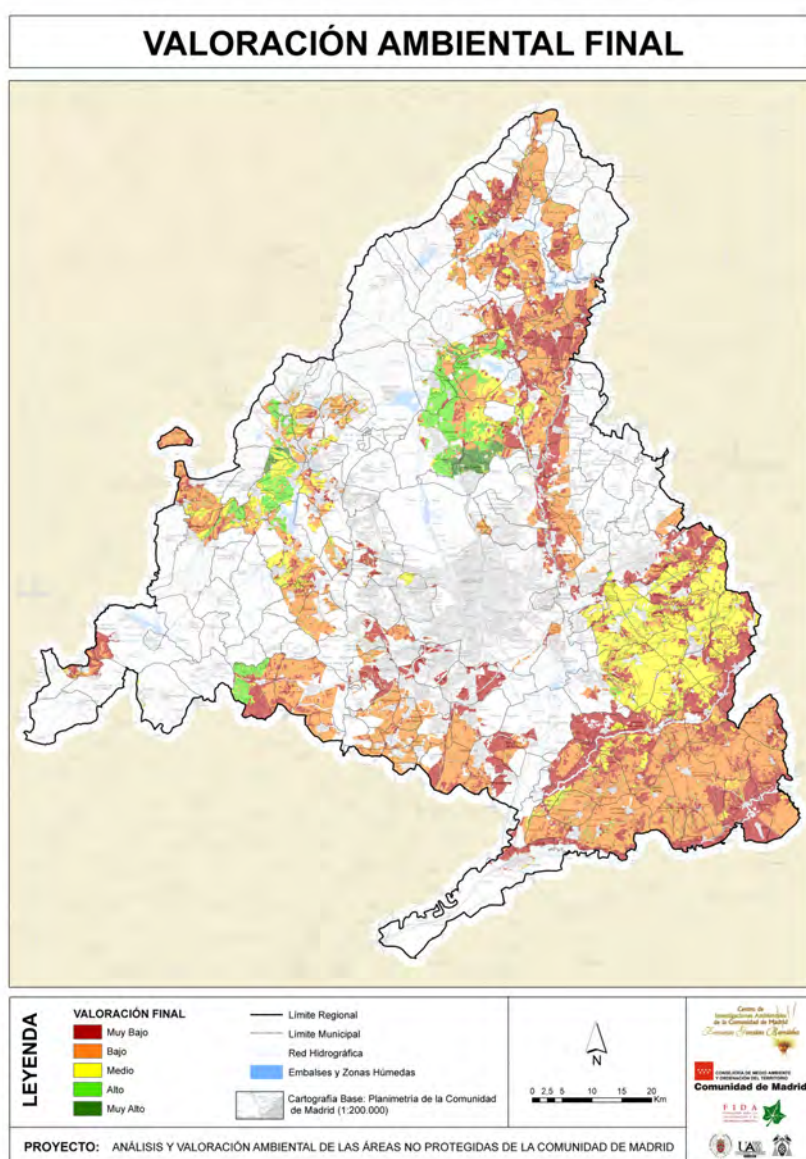


Figura 7. Mapa final de valoración ambiental.

El resultado final de la valoración ambiental ha sido la clasificación del territorio no protegido de la región de Madrid en diferentes clases que van desde áreas consideradas de valor muy alto a zonas con muy bajo valor. Esta clasificación se ha basado en el valor numérico final obtenido de la integración multicriterio, por lo que es una valoración relativa al rango de valores obtenidos. Los tres mapas que se integran en el último modelo se encuentran estandarizados en 100 categorías, lo que supone que aquellas áreas en donde encontrásemos un valor 100 en el mapa final, tendrán el valor máximo en los tres mapas utilizados.

En este caso la zona con mayor valoración alcanza un valor de 63 y es el resultado de la integración multicriterio OWA con un relativo bajo grado de compensación. Si se hubiese optado por una metodología totalmente no compensatoria, el resultado final sería el valor que presenta aquel criterio con mayor valoración en cada celda o píxel.

La agrupación del rango de valores finales se ha realizado utilizando el método intervalos naturales o “natural breaks” (Jenks 1963). Este método de clasificación se encuentra implementado en el software ArcGis e identifica los puntos de corte entre clases mediante el algoritmo de optimización de Jenks. Esta fórmula consiste básicamente en la minimización de la suma de la varianza intraclase para obtener la máxima homogeneización (mínima dispersión) dentro de cada intervalo y la máxima dispersión entre intervalos. Los límites entre clases se establecen en donde hay un salto relativamente importante entre los valores (figura 8). Se ha considerado que es el método de clasificación más adecuado para la agrupación de los valores debido a su lógica de funcionamiento y a su capacidad de establecer intervalos con una clara representación espacial.

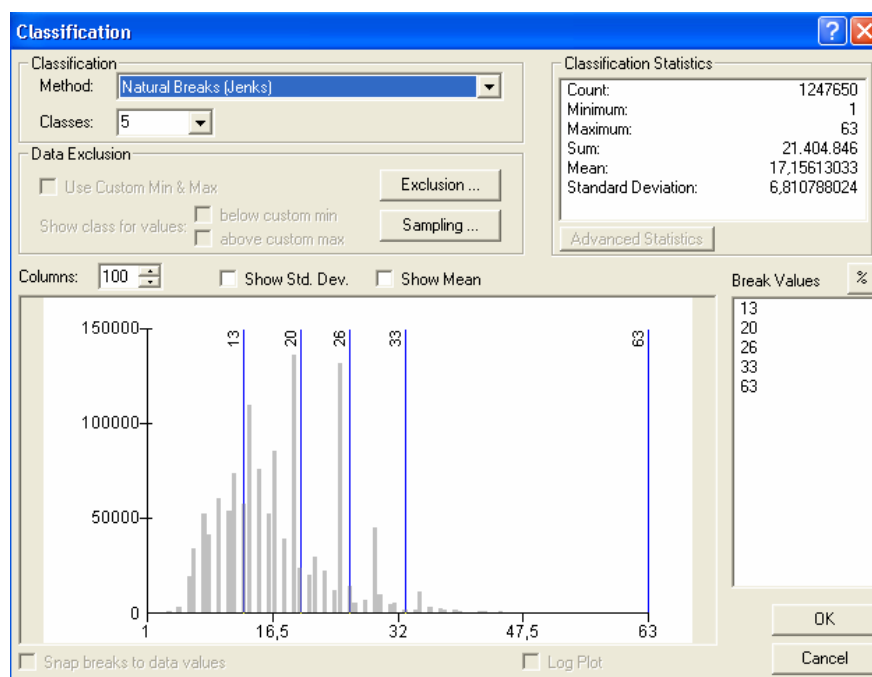


Figura 8. Clasificación del mapa final en 5 categorías. Técnica “natural breaks” software ArcGis.

Observando el histograma de la valoración final (figura 9), es evidente que la mayor parte de la zona de estudio presenta valores bajos o muy bajos (74%), debido al alto grado de antropización que tiene, lo que implica una importante degradación ambiental.

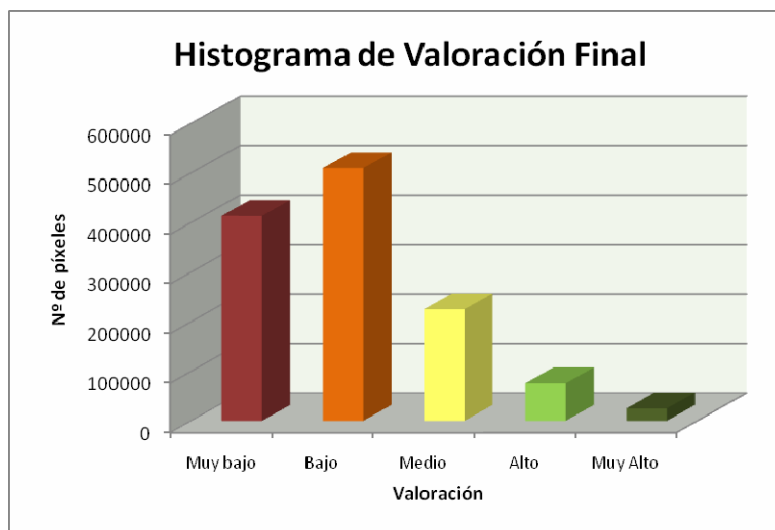


Figura 9. Histograma de Frecuencias para las 5 clases del mapa final de valoración.

Un 18% del área de estudio presenta valores medios. Son espacios en los que generalmente algún factor ambiental destaca en su valoración. En este ámbito se han seleccionado dos áreas de propuesta para su posible protección (ver apartado Propuestas).

Sólo un 8% del área presenta valores altos o muy altos, siendo lugares que pueden ser considerados como zonas de gran interés para su conservación. A pesar de representar un escaso porcentaje del área de estudio, en términos absolutos nos encontramos con cerca de 25000 ha de alto valor ambiental, aproximadamente 32 veces el Parque Natural de Peñalara. Se proponen 3 áreas a proteger de importante entidad dentro de este rango de mayor valoración (ver apartado Propuestas).

PROPUESTAS

En el mapa final de valoración ambiental destacan cinco zonas que, *a priori*, reúnen suficientes valores ambientales como para ser propuestas como futuros espacios naturales protegidos: Piedemonte de El Escorial, Entorno de Colmenar Viejo, Cerro Alarcón, Villamanta y Páramos del Sureste (Figura 10). El valor de estas áreas oscila entre los niveles medios alcanzados por los páramos del Sureste y Cerro Alarcón a los niveles altos del piedemonte de El Escorial, Villamanta y entorno de Colmenar Viejo. También varían los factores que más peso han tenido en el resultado final. En el caso del piedemonte, la flora y vegetación ha sido la variable con mayor importancia, en Villamanta ha sido el indicador de recursos hídricos junto a la fauna y, en las otras tres zonas, el peso de la fauna ha sido el factor más decisivo.

Las propuestas concretas encaminadas a la conservación de la zona objeto de estudio serían: el área del piedemonte de El Escorial podría ser incluida en el futuro ámbito de protección de la Sierra de Guadarrama. El entorno de Colmenar Viejo podría formar parte del Parque Regional de la Cuenca Alta del Río Manzanares. Cerro Alarcón y Villamanta entrarían en el LIC de las cuencas de los ríos Alberche y Cofio. Los Páramos del Sureste constituirían un área de protección nueva en la Comunidad de Madrid.

También se observan otros enclaves de menor superficie que no entran en estos cinco territorios propuestos pero que en un futuro podrían ser tenidos en cuenta para la creación de pequeñas reservas de fauna o flora. Algunas de estas zonas se encuentran en el valle del Lozoya, al norte de la región, y otras en el extremo opuesto: Chinchón, Morata de Tajuña y Perales de Tajuña. La vegetación y, en concreto, la rareza de las formaciones a nivel nacional es el indicador con mayor peso en estos territorios.

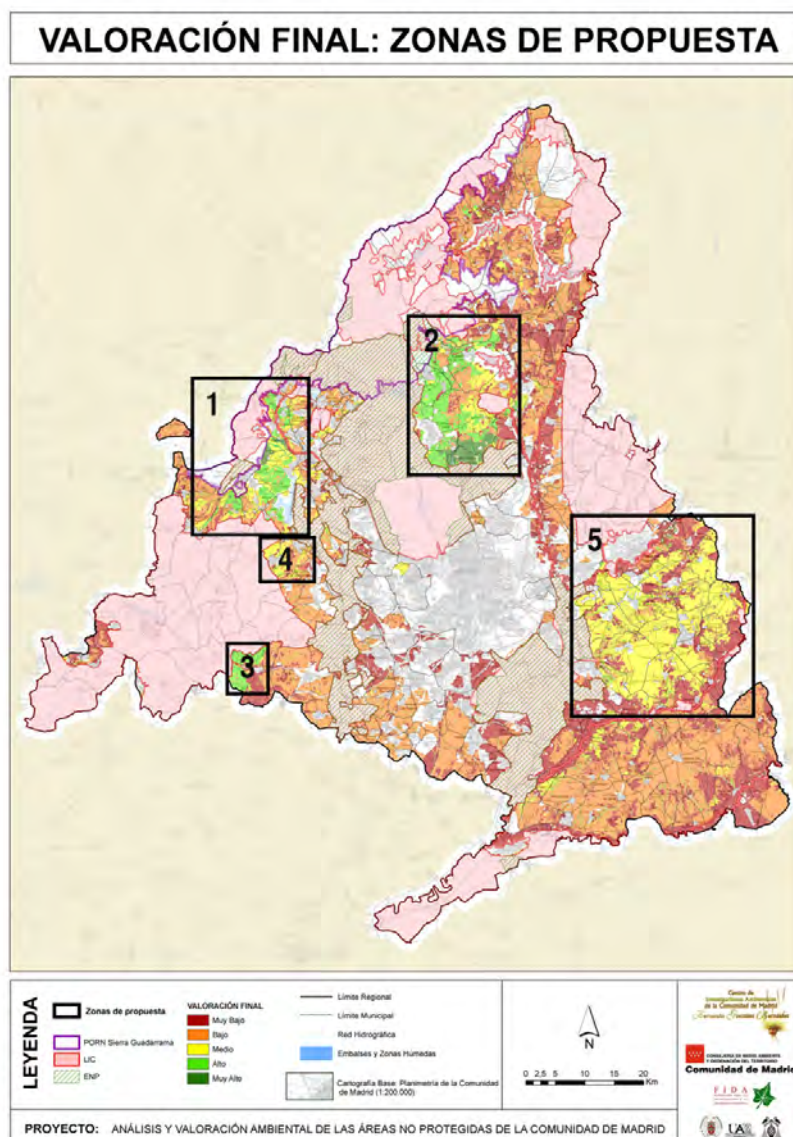


Figura 10. Zonas de propuesta: 1. Piedemonte de El Escorial; 2. Entorno de Colmenar Viejo; 3. Villamanta; 4. Cerro Alarcón y 5. Páramos del Sureste

CONCLUSIONES

La utilización de herramientas y metodologías como las aplicadas en este trabajo permiten disminuir la subjetividad inherente a cualquier valoración de los recursos naturales.

Las metodologías multicriterio con disminución de la compensación han demostrado ser más útiles en la valoración de recursos naturales que las metodologías compensatorias debido a su capacidad para detectar singularidades.

La correcta normalización de los indicadores de valoración, así como la utilización de métodos sencillos y efectivos en la consulta a expertos, son cuestiones fundamentales para la obtención de buenos resultados finales. Se ha comprobado en este trabajo un alto grado de eficacia del método de consulta a expertos denominado comparación por pares, al reducir la dificultad en el proceso de asignación de pesos por parte de los expertos, así como por la mayor precisión de los resultados.

La valoración está condicionada por la información disponible. Tener datos lo más completos y precisos posibles es asegurarse, en gran medida, la obtención de un buen resultado en el trabajo.

Los espacios no protegidos de la Comunidad de Madrid con valores más elevados de vegetación y flora se encuentran en el piedemonte serrano y están caracterizadas por fresnedas con valores altos de flora. Las zonas con valores medios se sitúan en el sureste de la región y están constituidas, fundamentalmente, por coscojares, quejigares y matorrales gipsícolas, con altos valores de vegetación y bajos valores de flora. Debido al alto grado de humanización del ámbito de estudio, en el que las superficies de cultivo suponen cerca de un 30% de la superficie total, sólo un 5,5% presenta valores altos de vegetación y flora.

Por otra parte, las zonas cultivadas del Sureste de la Comunidad de Madrid son las áreas que han obtenido mayores valores faunísticos, principalmente debido a la presencia de especies catalogadas y al elevado valor de la relación riqueza / potencialidad.

El área más valorada en función de sus recursos hídricos es la campiña, debido a la alta calidad de su sistema hidrogeológico y destacando, además, los cursos fluviales que por ella discurren debido a que no están regulados y a que presentan cuencas poco cultivadas y poco urbanizadas.

La integración de las tres valoraciones parciales, vegetación-flora, fauna y recursos hídricos, ha clasificado el territorio no protegido de la Comunidad de Madrid en cinco clases de valor: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo. Destacan especialmente cinco zonas por su alta valoración final: Piedemonte de El Escorial, Entorno de Colmenar Viejo, Cerro Alarcón, Villamanta y Páramos del Sureste. Se propone la inclusión de estas zonas en espacios ya protegidos o la creación de nuevas áreas protegidas para garantizar su conservación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Casado, M.A., Martín Castro, B., Gil Gil, T., Jiménez Escobar, M.D. y Jiménez Bailón, L. (2006): *Banco de Datos de la Biodiversidad de la Comunidad de Madrid*. Universidad Complutense de Madrid-Centro de Investigaciones Ambientales de la Comunidad de Madrid “Fernando González Bernáldez”. Archivo Digital Inédito.
- Comunidad de Madrid. (1984): *Plan Integral del Agua en Madrid. Las aguas subterráneas en la Comunidad de Madrid*. Comunidad de Madrid, 198 pp.
- Conesa Fernández-Vítora, V. (1997): *Guía metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. 3ª Edición. Madrid. Ed. Mundi-Prensa.
- Gil, T.; Vía, M. y Muñoz, C. (2003): Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la valoración de la vegetación y flora. *VII Congreso de la Asociación Española de Ecología Terrestre*. Universidad de Barcelona.
- Jenks, G.F. (1963): Generalization in statistical mapping. *Annals of the Association of American Geographers*, 53: 15-26.
- Malczewski, J. (1999): *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Muñoz Municio, C. y Vía García, M. (2005): *Sistema de Documentación para la planificación territorial*. Centro de Investigaciones Ambientales de la Comunidad de Madrid Fernando González Bernáldez. 67 pp.
- Saaty, T.L. (1977): A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *J. Math. Psychology*, 15: 234-281.

Vía García, M., Muñoz Municio, M^a C. y Martín Castro, B. (2007a): Propuesta metodológica para la detección de áreas singulares de vegetación y flora en las áreas no protegidas de la Comunidad de Madrid. *GeoFocus (Artículos)*, 7: 37-55.

Vía García, M., Muñoz Municio, M^a C. y Martín Castro, B. (2007b): Valoración de los hábitats de fauna como herramienta para la planificación sostenible del territorio: aplicación en los espacios no protegidos de la Comunidad de Madrid. *XX Congreso de Geógrafos Españoles*.

Vilar del Hoyo, L.; Martín Isabel, M^a.P. y Martínez Vega, F.J. (2008): Validación de modelos de probabilidad de ocurrencia de riesgo humano de incendio forestal. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 806-817. ISBN: 978-84-96971-53-0.

VALIDACIÓN DE MODELOS DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE RIESGO HUMANO DE INCENDIO FORESTAL

Vilar del Hoyo, L.; Martín Isabel, M^a.P. y Martínez Vega, F.J.

Instituto de Economía, Geografía y Demografía. Centro de Ciencias Humanas y Sociales CSIC. c/ Albasanz 26-28. 28037 Madrid. E-mail: lular@ieg.csic.es, mpilar.martin@ieg.csic.es, vega@ieg.csic.es

RESUMEN

En el marco del proyecto FIREMAP (<http://www.geogra.uah.es:8080/firemap/>) se han generado, mediante el empleo de herramientas SIG y técnicas estadísticas (regresión logística), modelos de probabilidad de ocurrencia de incendios forestales vinculados a la actividad humana para la provincia de Huelva y las Comunidades Autónomas de Madrid, Aragón y Valencia. La espacialización de dichos modelos, a una resolución de 1 km², se puso a disposición de diversos usuarios (responsables de la gestión contra incendios) mediante un servidor cartográfico durante la campaña 2007. Esta comunicación presenta los resultados obtenidos en la validación de estos modelos de riesgo humano utilizando los datos de incendios forestales de dicha campaña proporcionados por las distintas administraciones. Se han llevado a cabo análisis de distribución de frecuencias de puntos de ignición en la cartografía de probabilidad de riesgo así como análisis no paramétricos de comparación de muestras (U-Mann-Whitney). Los resultados muestran un acierto global de los modelos en torno al 58-64%. Los mejores ajustes globales se obtuvieron en la provincia de Huelva, si bien en Madrid se registraron los menores errores de infraestimación. En todos los modelos la comparación de muestras indica que hay diferencias significativas entre las zonas de alta y baja ocurrencia de incendios.

Palabras Clave: incendio forestal, riesgo humano, regresión logística, SIG, U-Mann-Whitney

ABSTRACT

In the conceptual framework of the Firemap project 'Integrated Analysis of Wildland Fire using Remote Sensing and GIS' (<http://www.geogra.uah.es:8080/firemap/>) one of the outcomes has been human wildfire risk models. Logistic regression techniques and GIS tools were used to generate predictive models at 1 km² grid level in the Madrid, Aragón and Valencia regions and also in the Huelva province. The models were available for fire managers through a web mapping server during the 2007 fire campaign. This paper illustrates the validation results of these human fire risk models, using the 2007 fire ignition data provided by the authorities. A frequency analysis of the fire points in the estimated fire risk probability has been carried out. Also, it have been applied non parametric tests to compare two samples (U-Mann-Whitney test). The correct classifications of the models are between 58-64%, where Huelva shows the better result while Madrid the worst. Using the U-Mann-Whitney test in all of the study regions we found that there were significant differences between fire occurrence in low and high human fire risk categories at the 1 km² grid level.

Keywords: forest fire, human risk, logistic regression, GIS, U-Mann-Whitney

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales pueden definirse como el fuego que se propaga, sin control, en un sistema forestal y cuya quema no cumple funciones ni objetivos de gestión, por lo que requiere trabajos de extinción (Salas y Cocero 2004 citando a Martínez, 2001). La incidencia de este fenómeno en nuestro país se relaciona con las características climatológicas propias de la región mediterránea, pero también con la acción del hombre, ya que, según las estadísticas oficiales, el 96,1% de los incendios que ocurren en España obedecen a causas humanas (DGB, 2006). Para poder llevar a cabo unas adecuadas labores de prevención es necesario conocer las causas de

los incendios forestales. Resulta evidente, dada la importancia de las consecuencias de los incendios forestales a todos los niveles (ecológico, económico, social), el interés de contar con mecanismos para el establecimiento de acciones permanentes y eficaces de prevención. Con este objetivo se aborda el estudio del riesgo de incendio. De entre los diversos planteamientos conceptuales del riesgo se encuentra el que estructura el mismo en tres componentes relacionados con el inicio de fuego, la propagación y los daños que produce en el medio (Chuvieco *et al*, 2004). Este planteamiento es objeto de estudio en el marco del Proyecto *Firemap*: “Análisis Integrado de Incendios Forestales mediante Teledetección y Sistemas de Información Geográfica” (CGL2004-06049-C04-02/CLI)¹. En este proyecto se propone un esquema de integración de las variables relacionadas con el riesgo de ignición, propagación y la vulnerabilidad (Figura 1).

Mediante la tecnología Web mapping el grupo coordinador del proyecto ha construido CartoFire (<http://www.geogra.uah.es:8080/cartofire/>) un servidor cartográfico donde los productos generados en el proyecto están a disposición de los usuarios del mismo (responsables de la gestión forestal) y público general. Los mapas de probabilidad de riesgo humano, obtenidos para cada área de estudio del proyecto y disponibles en CartoFire, se muestran en la Figura 2.

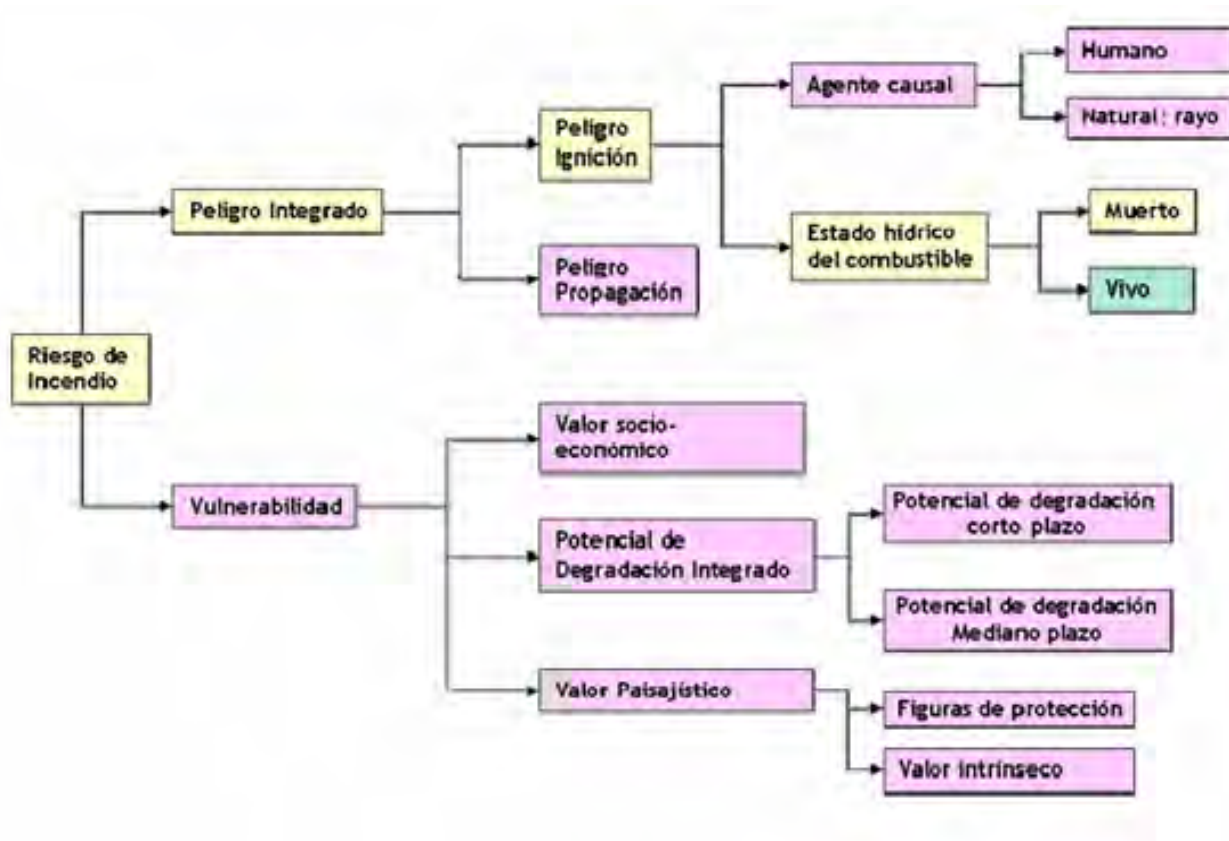


Figura 1. Esquema Proyecto *Firemap*. <http://www.geogra.uah.es/firemap>

¹ Proyecto financiado por la CICYT (diciembre 2004 -diciembre 2007). Entidades participantes: Universidad de Alcalá, Universidad de Córdoba, IEG-CSIC, INM, Universidad Castilla la Mancha, Universidad Politécnica de Madrid, CEAM, Universidad de Zaragoza

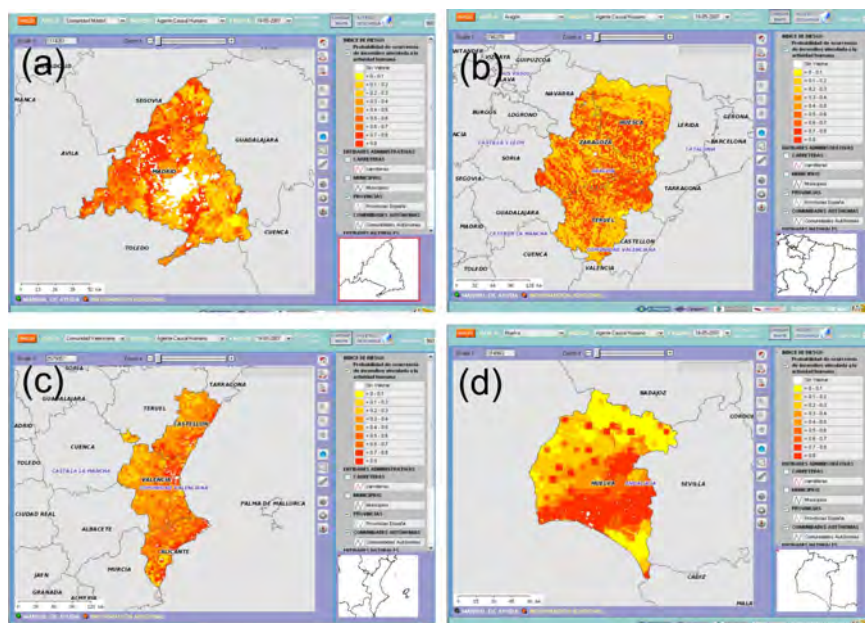


Figura 2. Riesgo humano de incendio forestal. C. Madrid (a), Aragón (b), C.Valenciana (c), provincia de Huelva (d). <http://www.geogra.uah.es:8080/cartofire/>

MATERIAL Y MÉTODOS

Áreas de estudio

Las áreas de estudio en las que se ha generado y posteriormente validado la probabilidad de riesgo humano de incendio forestal, en el marco del proyecto *Firemap*, han sido la Comunidad de Madrid, Aragón, Comunidad Valenciana y la provincia de Huelva, en España (Figura 3).

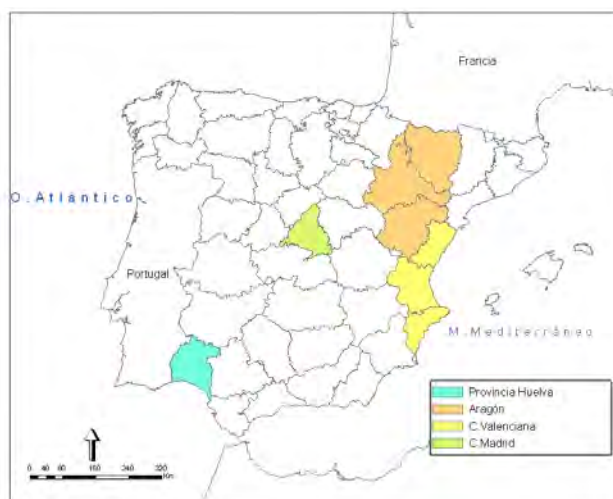


Figura 3. Áreas de estudio para validación del riesgo humano de incendio forestal.

En la C. de Madrid, en la campaña de incendios de 2007, se produjeron 230 incendios. Más del 25% de los mismos se iniciaron en el mes de Julio (Figura 4), mientras que en el mes de Agosto se registró la mayor superficie total quemada. Aproximadamente, el 60% de los incendios han sido debidos a negligencias o accidentes,

20% intencionados, 4% rayo y 16% de causa desconocida (Figura 4). De los incendios de causa conocida, más del 94% ha sido producido por la acción del hombre.

En Aragón, se produjeron 343 incendios en la campaña de 2007, la mayor parte concentrados en los meses de Marzo, Julio y Agosto. La mayor superficie quemada corresponde al mes de Agosto (Figura 5). Más del 65% de los incendios ha sido debido a negligencias o accidentes, desconociéndose las causas de, aproximadamente, el 8% de los incendios. Los incendios producidos por rayos en esta zona han supuesto un 19% del total (Figura 5).

En la C. Valenciana se produjeron 344 incendios en 2007, de los que aproximadamente el 67% ocurrieron en los meses de Marzo, Junio, Julio y Agosto. La mayor superficie quemada se registró en el mes de Agosto (Figura 6). De estos incendios aproximadamente el 44% se ha debido a negligencias y accidentes y el 36% ha sido de causa intencionada (Figura 6). En este caso el porcentaje de incendios de causa desconocida es muy pequeño y apenas supera el 1% del total.

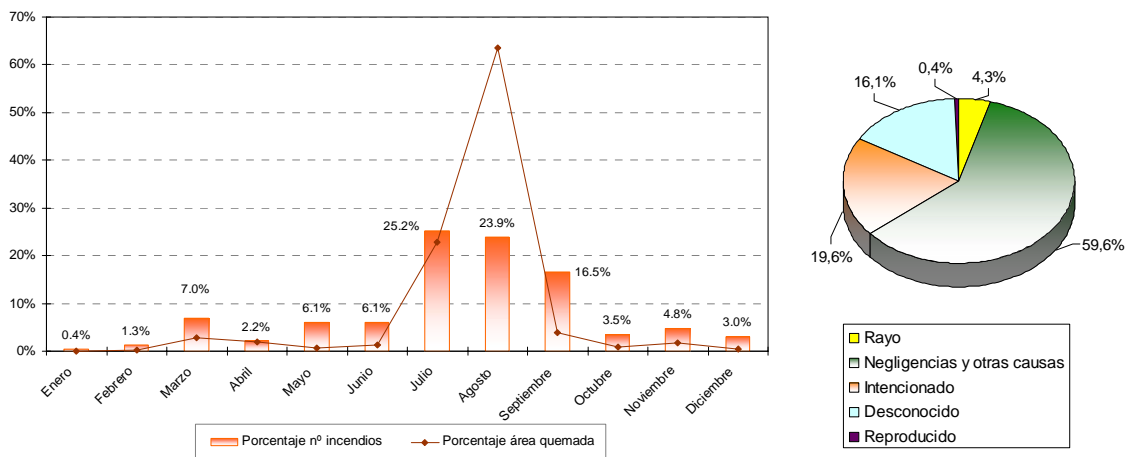


Figura 4. Porcentaje de incendios y área quemada por mes. Porcentaje de incendios por causas. C. Madrid, campaña 2007

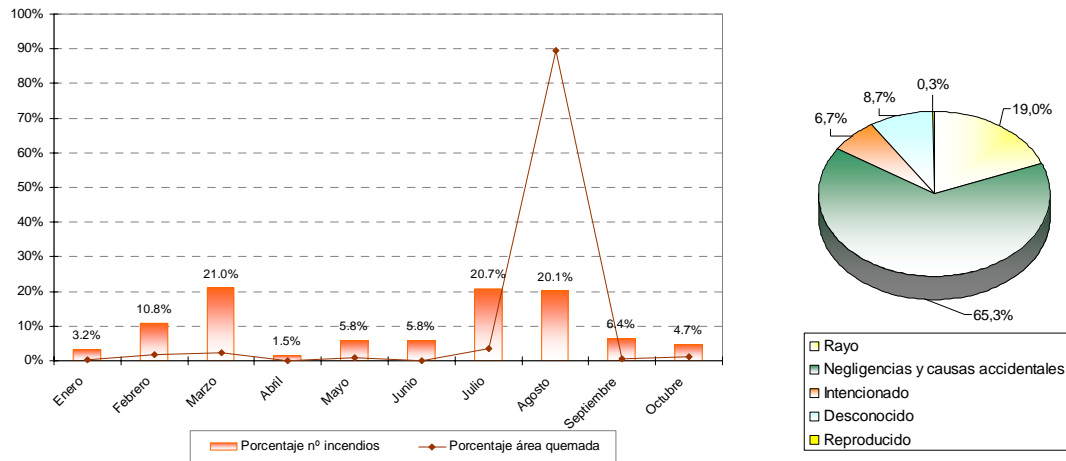


Figura 5. Porcentaje de incendios y área quemada por mes. Porcentaje de incendios por causas. C. Aragón, campaña 2007

En la provincia de Huelva se produjeron 157 incendios en la campaña de 2007, registrándose el mayor número en los meses de Junio, Julio y Agosto (el 64% del total aproximadamente). El mes de Julio registró el mayor porcentaje de superficie quemada de la campaña (Figura 7). Más del 37% de los incendios de causa conocida se debieron a negligencias o accidentes, mientras que el 21% aproximadamente fueron incendios intencionados (Figura 7).

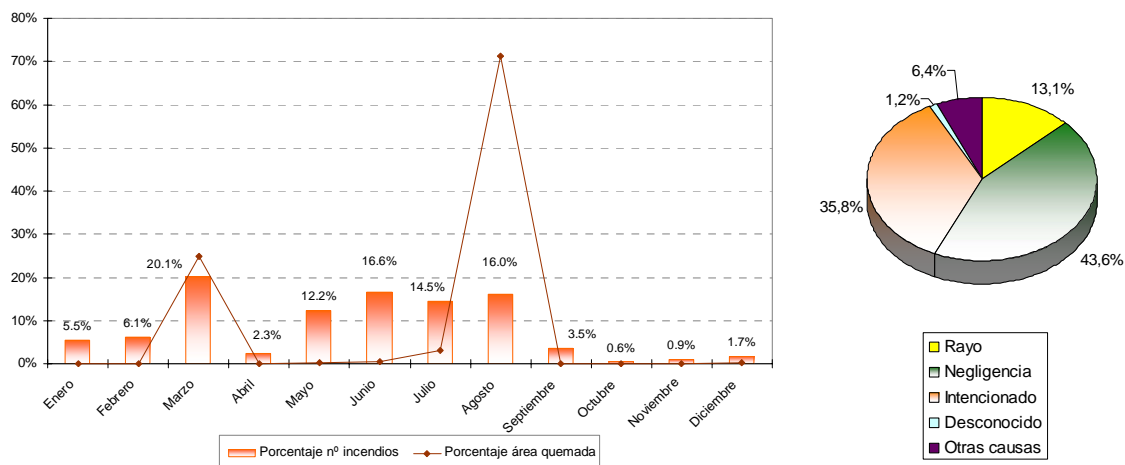


Figura 6. Porcentaje de incendios y área quemada por mes. Porcentaje de incendios por causas. C. Valenciana, campaña 2007

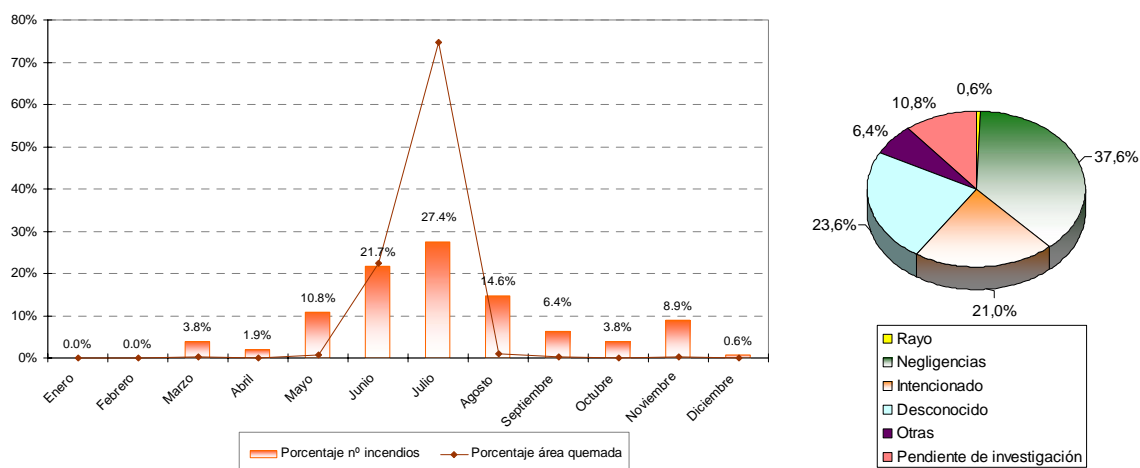


Figura 7. Porcentaje de incendios y área quemada por mes. Porcentaje de incendios por causas. Huelva, campaña 2007

Puntos de ignición y mapas de probabilidad de riesgo humano

Para cada zona de estudio se dispone de los puntos de ignición del año 2007. Son coordenadas X, Y del inicio del incendio y llevan asociada la información sobre causas además de la superficie quemada correspondiente a cada incendio. Cada base de datos se ha depurado, detectando los posibles errores de localización de los puntos. Los incendios mal localizados (coordenadas incorrectas, fuera del área de estudio) no han sido considerados en el análisis, así como los incendios producidos por rayo y aquellos de causa desconocida. La Figura 8 muestra la distribución espacial de los puntos de ignición disponibles para la validación en cada área de estudio.

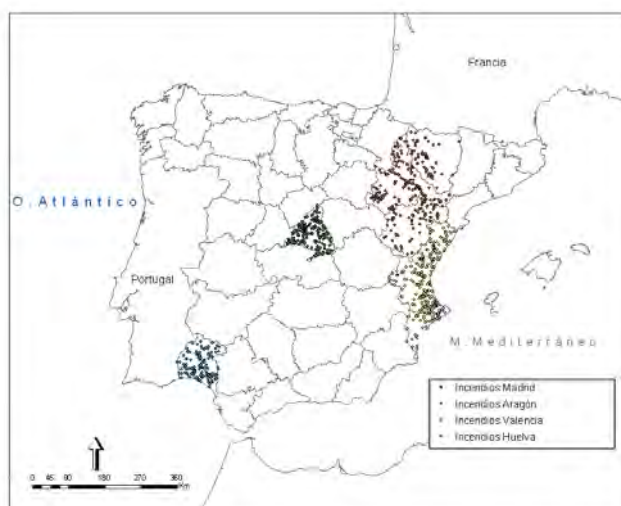


Figura 8. Puntos de ignición 2007

Como se ha citado anteriormente, se trata de validar los mapas de probabilidad de riesgo humano obtenidos en el marco del proyecto *Firemap* (<http://www.geogra.uah.es:8080/firemap/>). Estos mapas han sido obtenidos, tras la modelización del riesgo humano mediante el empleo de regresión logística binaria a 1 km² de resolución (Vilar et al, 2008). Los mapas muestran la distribución espacial del riesgo de incendio vinculado a factores socio-económicos y expresados en términos probabilísticos. Esta probabilidad de riesgo se divide en cuatro intervalos: 0,01 a 0,2 (probabilidad muy baja, P1); 0,201 a 0,5 (probabilidad media-baja, P2); 0,501 a 0,8 (probabilidad media-alta, P3) y 0,801 a 1 (probabilidad muy alta, P4).

Análisis de distribución de frecuencias

Para la validación de los mapas de riesgo se han seleccionado los incendios de causa humana, descartándose los desconocidos y los producidos por rayo. A continuación, mediante el empleo de herramientas SIG, se han superpuesto los puntos de ignición sobre los mapas de probabilidad de riesgo humano. Finalmente se ha llevado a cabo un análisis de frecuencias de las categorías resultantes de la superposición. Los aciertos y los errores vendrán determinados en función de si los puntos de ignición de la campaña de 2007 se localizan en zonas de baja o alta probabilidad, según los intervalos antes mencionados. Se espera que los puntos de ignición se localicen en las zonas con intervalos de riesgo medio-alto y muy alto. En consecuencia, se considera un error del modelo utilizado para la generación de los mapas, si los incendios se localizan en zonas donde la probabilidad estimada es muy baja (primer intervalo), o baja (segundo intervalo). En ambos casos se trataría de un error de infraestimación. El error de sobrestimación sería aquel en el que la probabilidad estimada es alta (tercer intervalo) o muy alta (cuarto intervalo) y no se han producido incendios. Sin embargo, este error no ha sido cuantificado en este trabajo pues la información disponible para la validación (incendios ocurridos en 2007) no permite comprobar si las zonas de riesgo alto y muy alto sobrestiman el riesgo ya que el riesgo estructural vinculado a factores socio-económicos puede ser alto o muy alto y aún así no desencadenarse el incendio si no actúan los agentes causales y no son favorables las condiciones ambientales.

Los análisis espaciales de distribución de frecuencias y de acierto y error en la validación se han llevado a cabo utilizando *ArcGis 9.2* y *SPSS 14 para Windows*.

Análisis no paramétricos de comparación de muestras: U-Mann-Whitney

Como medida adicional para la validación de la cartografía de riesgo se ha llevado a cabo un análisis no paramétrico de comparación de muestras independientes entre celdas donde ha habido incendio y celdas donde no ha habido incendio de acuerdo a los datos disponibles para 2007. El test elegido es el de la U-Mann-Whitney, apropiado cuando las muestras no siguen una distribución normal (Cuesta, 2003; Garson, 2006; *SPSS 14 help*).

Este test es el más utilizado para la comparación de dos muestras independientes. Combina las observaciones de cada uno de los dos grupos independientes, en rangos ordenados. Este procedimiento requiere que el número de vínculos sea un porcentaje pequeño de todas las observaciones. Si los dos grupos siguen la misma distribución, los rangos deben ordenarse de manera aleatoria entre los dos grupos. El cálculo de la suma de rangos del grupo 1 contabiliza cuántas veces una observación del primer grupo precede una observación del segundo grupo; y de forma similar para el grupo 2. La suma de rangos se emplea para el cálculo de la U-Mann-Whitney. Para muestras con un gran número de casos, la distribución del estadístico U se aproxima a una curva normal, y se interpreta empleando el estadístico Z (Garson, 2006). Cuando el estadístico Z es negativo, indica que la suma de rangos es menor que sus valores esperados. La significación estima la probabilidad de obtener el estadístico Z igual o más extremo que el mostrado (en valor absoluto), si hay efecto verdadero. El objetivo es comprobar si existe o no una asociación estadísticamente significativa entre la presencia de incendios de la campaña de 2007 y los valores de probabilidad de incendio por causa humana recogida en los correspondientes mapas.

Para llevar a cabo los análisis no paramétricos se ha empleado el paquete estadístico *SPSS 14 para Windows*.

RESULTADOS

En la validación se consideraron un total de 800 incendios: 182 en la C. de Madrid, 221 en Aragón, 295 en la C. Valenciana y 102 en la provincia de Huelva. Una vez realizado el análisis de superposición espacial de los puntos de ignición sobre el mapa de probabilidad de riesgo de cada área de estudio se ha obtenido la distribución de aciertos y errores que muestran las Figuras 9, 10, 11 y 12 y las tablas 1, 2, 3 y 4.

Como se observa en la tabla 1, más del 60% de los incendios ocurridos durante 2007 en la C. de Madrid se iniciaron en zonas de riesgo medio-alto y muy alto. El 40% restante se localizaron en zonas de riesgo bajo, lo que indicaría una infraestimación del riesgo. No obstante, hay que tener en cuenta que dicha infraestimación se sitúa especialmente en las zonas de riesgo medio-bajo mientras que sólo un 2,5% del total de incendios se produjeron en zonas de riesgo muy bajo. Se observa que las celdas en las que se ha producido la infraestimación (tonos rojo y naranja del mapa de la Figura 9) se localizan en el Este y Sureste del área de estudio. Los aciertos (tonos verdes) se localizan, fundamentalmente, en la zona de la Sierra de Madrid.

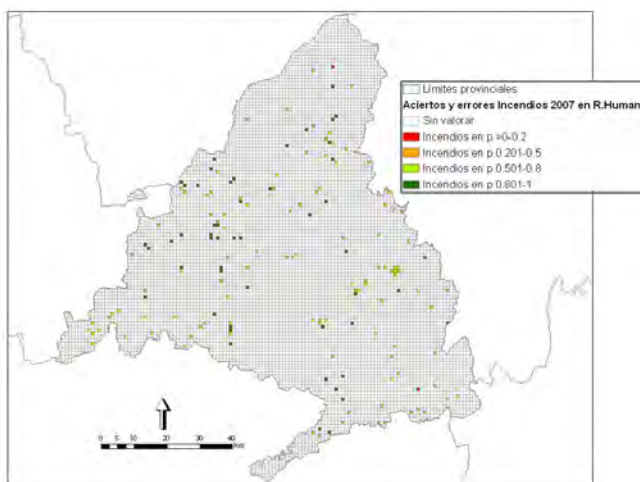


Figura 9. Intervalos de probabilidad del mapa de riesgo que coinciden con los puntos de ignición de 2007 en la C. de Madrid².

² El significado de los colores es el mismo para las Figuras 9, 10, 11 y 12 y es el siguiente: en verde los incendios ocurridos en zonas con intervalos de riesgo medio-alto y muy alto. En naranja y rojo los incendios ocurridos en zonas con intervalos de riesgo medio-bajo y muy bajo (errores por infraestimación).

Tabla 1. Porcentajes de acierto y error del análisis de la distribución de los puntos de ignición en los valores de probabilidad. C. Madrid

OBSERVADOS	PREDICHO			
	Baja incidencia		Alta incidencia	
	P1	P2	P3	P4
No incendio	9,7%	46,3%	30,5%	13,5%
Incendio	2,5%	35,8%	31,5%	30,3%
Global	57,3%			

En Aragón, más del 70% de los incendios ocurridos en 2007 se iniciaron en zonas de riesgo medio-alto y muy alto (tabla 2). El 30% restante se localizaron en zonas de riesgo bajo. Las celdas en las que se ha producido la infraestimación más grave (incendios en valores muy bajos de probabilidad) suponen un 15% del total de incendios y se localizan en la zona central Norte, en la provincia de Zaragoza, así como en el Suroeste del área de estudio. Los aciertos se localizan fundamentalmente en la zona Norte y Este (Figura 10). El acierto global de la validación es del 63,1%.

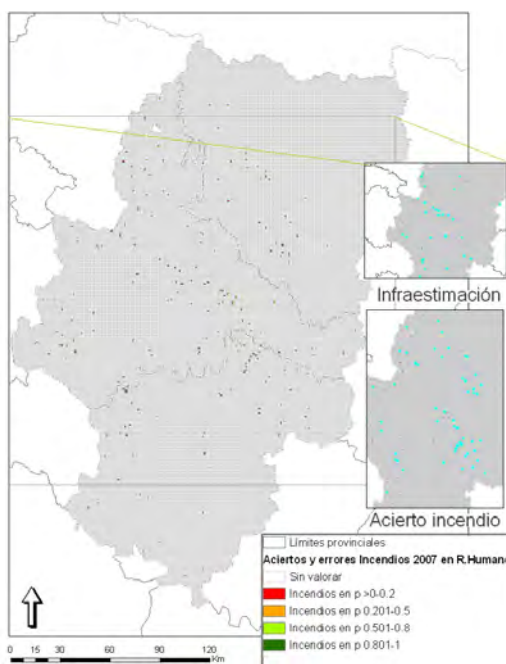


Figura 10. Intervalos de probabilidad del mapa de riesgo que coinciden con los puntos de ignición de 2007 en Aragón.

Tabla 2. Porcentajes de acierto y error del análisis de la distribución de los puntos de ignición en los valores de probabilidad. Aragón

OBSERVADOS	PREDICHO			
	Baja incidencia		Alta incidencia	
	P1	P2	P3	P4
No incendio	36,6%	26,2%	23,8%	13,4%
Incendio	15,2%	13,8%	43,3%	27,7%
Global	63,1%			

En la C. Valenciana, sólo el 50% de los incendios ocurridos en 2007 se iniciaron en zonas de riesgo medio-alto y muy alto (tabla 3). El 50% restante se localizaron en zonas de riesgo bajo, lo que indicaría una elevada infraestimación del riesgo si bien el número de incendios ocurridos en zonas de riesgo muy bajo es pequeño (4 % del total) estando localizada, por tanto, la mayor parte de la infraestimación en las zonas de riesgo medio-bajo. Las celdas en las que se ha producido la infraestimación más grave (incendios en valores muy bajos de probabilidad) se localizan en la zona central, en la provincia de Valencia, así como en el Sureste del área de estudio (provincia de Alicante). Los aciertos se producen en la zona Norte y en el centro Este (Figura 11).

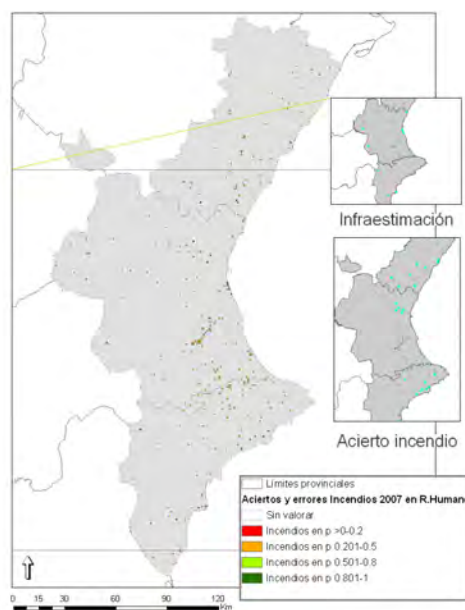


Figura 11. Intervalos de probabilidad del mapa de riesgo que coinciden con los puntos de ignición de 2007 en la C. Valenciana.

Tabla 3. Porcentajes de acierto y error del análisis de la distribución de los puntos de ignición en los valores de probabilidad. C. Valenciana

OBSERVADOS	PREDICHO			
	Baja incidencia		Alta incidencia	
	P1	P2	P3	P4
No incendio	5,8%	56,4%	31,5%	6,4%
Incendio	4%	45,6%	39,9%	10,5%
Global	62,7%			

En la provincia de Huelva, el 68% de los incendios ocurridos en 2007 se iniciaron en zonas de riesgo medio-alto y muy alto (tabla 4). El 32% restante se localizaron en zonas de riesgo bajo. Las celdas en las que se ha producido la infraestimación más grave (el 12% de incendios en valores muy bajos de probabilidad) se localizan en la zona Norte, coincidiendo con la Sierra de Aracena. Los aciertos se localizan, fundamentalmente, al Sur de la provincia (Figura 12). El acierto global de la validación es del 62,1%.



Figura 12. Intervalos de probabilidad del mapa de riesgo que coinciden con los puntos de ignición de 2007 en la provincia de Huelva.

Tabla 4. Porcentajes de acierto y error del análisis de la distribución de los puntos de ignición en los valores de probabilidad. Huelva

OBSERVADOS	PREDICHO			
	Baja incidencia		Alta incidencia	
	P1	P2	P3	P4
No incendio	39,2%	22,2%	15,8%	22,8%
Incendio	12%	20%	17%	51%
Global	62,1%			

La tabla 5 muestra los resultados obtenidos en cada zona de estudio. Los valores de acierto son muy similares para las distintas regiones si bien Aragón presenta el porcentaje más alto de acierto (63,1%) y Madrid el más bajo (57,3%). Este acierto global ha de interpretarse con precaución pues incluye una valoración de los errores en la estimación del “no incendio” que están sobreestimados ya que, como antes mencionamos, la no ocurrencia de incendios en zonas de alto riesgo no implica necesariamente un error de sobreestimación ya que puede existir el riesgo estructural sin que se den, en el período utilizado para la validación, las condiciones físicas y humanas que desencadenen el incendio. Más relevante, de cara a la validación de los modelos de riesgo humano, resulta la cuantificación de los errores de omisión. Éstos son los más graves de cara a la utilización de este producto en la gestión contra incendios. En la tabla 5 se comparan los errores de infraestimación más graves, los que corresponden a incendios ocurridos en zonas de riesgo bajo en el mapa de probabilidad de ocurrencia asociada a factores socio-económicos. En este caso los errores más bajos corresponden a Madrid y C. Valenciana y los más altos a Huelva y Aragón.

Tabla 5. Porcentajes de infraestimación y sobrestimación del análisis de la distribución de los puntos de ignición en los valores de probabilidad

	Madrid				Aragón			
	PREDICHO				PREDICHO			
	Baja incidencia		Alta incidencia		Baja incidencia		Alta incidencia	
OBSERVADOS	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
No incendio	9,7%	46,3%	30,5%	13,5%	36,6%	26,2%	23,8%	13,4%
Incendio	2,5%	35,8%	31,5%	30,3%	15,2%	13,8%	43,3%	27,7%
Global	57,3%				63,1%			
	C. Valenciana				Huelva			
	PREDICHO				PREDICHO			
	Baja incidencia		Alta incidencia		Baja incidencia		Alta incidencia	
OBSERVADOS	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
No incendio	5,8%	56,4%	31,5%	6,4%	39,2%	22,2%	15,8%	22,8%
Incendio	4%	45,6%	39,9%	10,5%	12%	20%	17%	51%
Global	62,7%				62,1%			

Test U-Mann-Whitney

La tabla 6 muestra los estadísticos de contraste para las cuatro áreas de estudio. La variable de agrupación es incendio/no incendio. En todas las áreas de estudio se han obtenido resultados del estadístico Z negativos. Esto indica que la suma de rangos es menor que sus valores esperados. La significación asintótica (bilateral) o p-valor es 0,000, rechazando la hipótesis nula de que la media de probabilidad estimada de riesgo humano es similar en ambos grupos, por lo que es posible afirmar que existe una asociación estadísticamente significativa entre la presencia de incendios en 2007 y la probabilidad de riesgo de incendio por causa humana.

Tabla 6. Estadísticos de contraste test U-Mann Whitney

	Probabilidad estimada			
	C. Madrid	Aragón	C. Valenciana	Huelva
U de Mann-Whitney	0,000	3103648,500	0,000	0,000
W de Wilcoxon	34366195,000	1174553054,500	283350915,000	54314253,000
Z	-91,924	-9,268	-155,084	-102,570
Sig. asintótica. (bilateral)	0,000	0,000	0,000	0,000

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los tests de comparación de muestras de la U-Mann-Whitney señalan que, para todas las áreas de estudio, hay diferencias significativas entre la muestra donde se han producido incendios y donde no ha habido, lo que indica que hay una asociación estadísticamente significativa entre la presencia de incendios y la probabilidad de riesgo de incendio por causa humana estimada en el marco del proyecto Firemap.

Los resultados obtenidos en la validación de los modelos de riesgo humano de incendio forestal pueden considerarse, en general, satisfactorios, a pesar de que los aciertos globales son inferiores a los obtenidos en la generación de los modelos (Vilar *et al*, 2008). Sería de interés contar con datos reales de incendio de una serie más larga de años para comprobar la consistencia temporal de los resultados obtenidos en este estudio.

La consecución de modelos como los que se han validado en este trabajo puede ser de gran interés para los gestores, permitiendo identificar zonas de alta ocurrencia de incendios y tipos de variables de riesgo humano

influyentes en el mismo. Los incendios de causa humana son los más numerosos en las áreas de estudio, siguiendo la tendencia general de las zonas mediterráneas.

Los gestores de las zonas estudiadas consultados, mediante una encuesta cualitativa, acerca del interés de integrar la información del riesgo humano en sus sistemas actuales de evaluación del peligro de incendios forestales coinciden mayoritariamente en su alta utilidad. Tras evaluar el índice global de riesgo, proporcionado por el proyecto Firemap, a lo largo de la campaña de incendios de 2007, opinan que es muy completo, al integrar diversos factores relacionados con el peligro, la propagación y la vulnerabilidad. De esta manera, el índice integrado de riesgo aporta más información, menos sesgada por algunos factores como el meteorológico. Entre todos los productos que integra el índice de riesgo es valorado positivamente por los gestores el modelo de riesgo humano, considerando la elevada proporción de incendios ocurridos por factores socioeconómicos y la novedad que supone respecto a los sistemas ordinarios de evaluación del riesgo. No obstante, una minoría de expertos entrevistados considera que un índice de riesgo complejo dificulta su interpretación y le resta operatividad para la gestión.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del Proyecto *Firemap*, (CGL2004-06049-C04-02/CLI) y ha sido parcialmente financiado por el programa FPI (BES-2005-7712). Agradecemos a las siguientes instituciones: *Jefatura Cuerpo de Bomberos de la C. de Madrid*, *Consellería de Territori i Habitatge* de la C. Valenciana, *Departamento de Medio Ambiente, Sección de defensa contra incendios forestales* de la C. de Aragón y *Universidad de Córdoba, departamento de Silvicultura*, la información facilitada de los incendios de la campaña 2007

REFERENCIAS

- Chuvieco, E., Salas, J., De la Riva, J., Pérez, F. y Lana-Renault, N. (2004): Métodos para la integración de variables de riesgo: el papel de los sistemas de información geográfica. En: Chuvieco, E. y Martín, P. (Eds.), *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. CSIC, Instituto de Economía y Geografía, Madrid, pp. 144-158.
- Cuesta Álvaro, P. (2003): Introducción técnicas estadísticas aplicadas a ciencias de la salud. *Biblioteca de software, Servicios informáticos UCM*: <http://www.sisoft.ucm.es/>
- Dirección General para la Biodiversidad (2006): Estadísticas de Incendios Forestales. Ministerio de Medio Ambiente: <http://www.incendiosforestales.org/estadisticas.htm>.
- Garson, D. (2006): Tests for two independent samples. Statnotes: Topics in Multivariate Analysis: <http://www2.chass.ncsu.edu/garson/pa765/mann.htm#mann>
- Salas, J. y Cocero, D. (2004): El concepto de peligro de incendio. Sistemas actuales de estimación del peligro. Capítulo II. En: Chuvieco, E. y Martín, P. (Eds.): *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. CSIC, Instituto de Economía y Geografía, Madrid, pp. 23-32.
- Vilar del Hoyo, L., Martín Isabel, M^a P. y Martínez Vega, F. J (2008): Empleo de técnicas de regresión logística para la obtención de modelos de riesgo humano de incendio forestal a escala regional. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. En revisión.

Acosta Bono, Gonzalo y Sánchez Díaz, Francisco José (2008): Construyendo el sistema cartográfico de Andalucía: el proceso de planificación, su alcance y contenidos. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial (Jornadas Técnicas)*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 818-823. ISBN: 978-84-96971-53-0.

CONSTRUYENDO EL SISTEMA CARTOGRÁFICO DE ANDALUCÍA: EL PROCESO DE PLANIFICACIÓN, SU ALCANCE Y CONTENIDOS

Acosta Bono, Gonzalo y Sánchez Díaz, Francisco José

Geógrafos del Instituto de Cartografía de Andalucía

En estos días será aprobado definitivamente el primer Plan Cartográfico de Andalucía que tendrá un periodo de vigencia cuatrienal (2009-2012) de acuerdo con lo establecido en el Decreto 141/2006, por el que se ordena la actividad cartográfica en la Comunidad Autónoma de Andalucía. En poco más de un año se ha elaborado este documento en un proceso participativo que ya ha tenido un primer efecto importante, la cohesión del Sistema Cartográfico de Andalucía a través del trabajo colectivo desarrollado para definir los objetivos, estrategias y líneas de actuación que fundamentan la Política de Información Geográfica de la Junta de Andalucía.

En la presente ponencia se describen este proceso y los principales contenidos del Plan, que desarrolla y aplica en Andalucía las directrices establecidas en la Directiva Europea InspiRE atendiendo a las necesidades específicas de nuestra comunidad.

EL ALCANCE ESTRATÉGICO DEL PLAN

El Decreto 141/2006 supone una renovación en el ejercicio de las competencias y actividades cartográficas, con una decidida apuesta por la aplicación y desarrollo de dos ideas-fuerzas:

- el salto cualitativo que supone entender los profundos cambios que definen al hecho cartográfico, propiciado por la innovación tecnológica y que centra la cuestión en la **información geográfica** más que en la representación gráfica de algunos de los datos espaciales;
- y, en segundo lugar, el concepto de servicio público aplicado a una política de difusión que hace de la **accesibilidad** su principal paradigma, para favorecer el uso de la información geográfica en las mejores condiciones, al servicio tanto de las políticas públicas como de la ciudadanía en general.

Ambas cuestiones suponen trascender el estricto marco de actividad del Instituto de Cartografía de Andalucía para reconocer que la información geográfica se genera en el conjunto de la administración pública y por consiguiente requiere articular funcionalmente a los distintos departamentos para conformar el Sistema Cartográfico de Andalucía. Y al mismo tiempo, la voluntad inequívoca de integrarse en el marco de las políticas estatal y europea, de la que participa en sus principios y orientaciones. Adaptados a nuestra realidad dichos principios se enuncian de la siguiente manera:

- La política de información geográfica tiene naturaleza instrumental al servicio de las políticas públicas.
- El derecho a la información que tiene la sociedad debe hacer accesible y utilizable la información geográfica.
- Establecer un modelo de producción a partir de la responsabilidad competencial.
- Asegurar la disponibilidad de los datos necesarios para la gestión del territorio.
- Apostar por el desarrollo de instrumentos de cooperación.
- Lograr una economía y eficacia del gasto público en el desarrollo de las previsiones del Plan.
- Favorecer y fomentar iniciativas de proyectos de innovación.

- Facilitar la comunicación con la sociedad.

Para concretar esta orientación de la actividad cartográfica, y dotar al Sistema Cartográfico de una herramienta para desarrollar sus objetivos, el Decreto se sustenta en **la planificación como proceso permanente**. Este ejercicio permite concretar los mecanismos de coordinación y concertación a partir de la definición previa de objetivos y líneas de actuación. Para ello, creó un sistema de planificación en el que son sus componentes: el **Plan Cartográfico**, cuatrienal, y el **Programa anual** para su desarrollo en actuaciones, así como las **Normas Técnicas** para precisar los contenidos técnicos de unos procesos y productos que requieren la mayor definición posible y el cumplimiento de requisitos de calidad.

Por tratarse del primer Plan, éste adquiere una **dimensión estratégica** para precisar los grandes objetivos, estrategias y líneas de actuación que, por ello, supera el inicial marco temporal del Plan (2009-2012). Se trata de un marco necesario en el que han constituido referencias muy importantes la normativa europea (Directiva InspirE) y estatal, (principalmente el reciente Real Decreto 1545/2007) igualmente situadas en esta dirección.

En este sentido, el Plan se dota de un cuerpo conceptual, de análisis de la realidad, y una estructura de contenidos que quieren dar respuesta a estas ideas-fuerzas y los retos que ello implica para orientar adecuadamente la política de información geográfica.

EL PLAN COMO PROCESO

La planificación se concibe como un ejercicio permanente colectivo, del Sistema Cartográfico de Andalucía, para detectar las necesidades y dirigir las actuaciones más adecuadas para alcanzar los objetivos propuestos. En este sentido el proceso de elaboración del Plan ha seguido los principios de coordinación, concertación y participación, de tal manera que su materialización documental ha sido el resultado de un amplio y permanente contraste de visiones, hasta llegar a una formulación que satisface al conjunto del Sistema Cartográfico de Andalucía.

Para asegurar este proceso, la Orden de formulación estableció los siguientes mecanismos:

- Una **Comisión de Redacción**, que ha adoptado la forma de **Grupo de Trabajo** de la Comisión de Cartografía, con la participación activa de todas las Consejerías. La mecánica de trabajo establecida ha consistido en la elaboración de documentos previos para su debate y mejora, las reuniones de trabajo, el intercambio de información constante a través de una lista de correos. Este proceso ha sido registrado a través de las actas y acuerdos de las 5 sesiones llevadas a cabo entre junio del 2007 y mayo de 2008.

Paralelamente este Grupo de Trabajo se ha reforzado con reuniones bilaterales -ICA y Consejerías- en dos momentos diferentes del proceso: uno en los meses iniciales (junio-julio 2007) para concretar el análisis de la situación, recursos, necesidades y proyectos; y otro tras la fase de información pública para conocer la valoración particular del Plan y el grado de satisfacción en relación con sus expectativas, necesidades e intereses específicos, y por tanto para realizar cuantos ajustes particulares se han considerado convenientes.

- Un procedimiento de **información pública** y, en paralelo, el de **audiencia** a determinados organismos de otras administraciones que tienen competencias y actividades relacionadas con la información geográfica y la cartografía. Previamente una Jornada técnica abierta a todos los agentes de este sector, con cerca de 200 participantes, sirvió para contrastar las primeras propuestas. De este proceso formal, pero flexible para ser receptivo a cualquier aportación, se ha derivado un conjunto de modificaciones, cuyo resultado ha sido un documento de Plan más maduro, sólido y compartido. Es la versión que, precisamente, se presenta a esta Comisión como proyecto técnico de Plan. Las aportaciones realizadas por los agentes públicos y privados, y las modificaciones realizadas por estimarse convenientes y debidamente justificadas, han sido exhaustivamente registradas en el informe de resultados del periodo de información pública y audiencia, analizado y aprobado por el Grupo de Trabajo y, en consecuencia, el que ha permitido avanzar en la tramitación final del Plan.

- El establecimiento de **mecanismos de desarrollo y aplicación del Plan** como parte sustancial de los contenidos operativos del Plan. Dichos mecanismos tienen que ver, por una parte, con los aspectos organizativos del Sistema Cartográfico, principalmente la propuesta sobre **Grupos de Trabajo** (en total 9, para acometer los principales asuntos de carácter más general e interdepartamental) y los criterios de funcionamiento de las **Unidades Cartográficas**, y de sus recursos físicos para cumplir con sus objetivos y funciones: básicamente, las denominadas infraestructuras y equipamientos geográficos y otras herramientas de carácter corporativo que sin duda contribuirán a la cohesión y eficacia del Sistema. Así mismo, tratándose de una materia de cierta complejidad técnica, el Plan prevé el desarrollo de 8 **Normas Técnicas** que facilitará los procesos de producción y distribución de acuerdo con parámetros de calidad homologados.

Por otra, se han establecido mecanismos de programación de actividades. Junto al **Programa anual** se ha establecido una serie de **Programas Temáticos** para un conjunto de materias que requieren una participación interdepartamental y una programación interanual. El Programa anual debe, en todo caso, reunir todas las actuaciones que han de desarrollarse en cada ejercicio presupuestario anual.

El Plan también ha previsto los adecuados mecanismos de **seguimiento y evaluación**, lo cual habrá de permitir un ejercicio permanente del desarrollo del Plan y el cumplimiento de sus objetivos, así como la base analítica necesaria para formular en su momento un nuevo Plan para el siguiente cuatrienio.

CONTENIDO DOCUMENTAL DEL PLAN

De acuerdo con lo establecido en la Orden de Formulación del Plan, éste se ha estructurado de la siguiente manera:

- **Memoria Justificativa.** Sobre la necesidad y oportunidad del Plan, así como sobre su coherencia con el marco jurídico aplicable.
- **Diagnóstico de la Información Geográfica.** Análisis de la situación actual de la cartografía y la información geográfica, sus necesidades y demandas, así como el contexto, dinámicas y tendencias que se observan en este sector de conocimiento y sus aplicaciones.
- **Objetivos, Estrategias y Líneas de Actuación.** Orientaciones y opciones de la política de información geográfica de la Comunidad Autónoma Andaluza.
- **Ordenación de la actividad cartográfica.** Contenido sustantivo del Plan, de acuerdo con el alcance de sus determinaciones.
- **Anexos.** Documentación técnica de detalle con carácter complementario (glosario, referencias normativas, índices y siglas utilizadas).

LOS CONTENIDOS TÉCNICOS DEL PLAN

La aportación más importante estriba quizás en su estructura de contenidos, que representa el esquema conceptual del modelo de producción y gestión de la información geográfica. En sus aspectos técnicos, dicho modelo responde al siguiente esquema: *fuentes de información* (obtención de datos con referencia geográfica) > *datos espaciales* (del amplio abanico temático con el atributo de localización precisa) > *información geográfica* (datos organizados para su adecuada gestión) > *difusión* (productos y servicios accesibles).

El Plan contiene de forma exhaustiva para cada uno de estos componentes un proceso unitario con todos los elementos necesarios para ejercer la actividad cartográfica de forma ordenada, título del Decreto 141/2006, cumpliendo de esta forma con la finalidad más amplia de la cultura planificadora: definir el objeto y alcance de cada de dato, regular procedimientos, distribuir responsabilidades, establecer prioridades y compromisos. Llegar a un acuerdo en estas materias equivale a aplicar el principio de coordinación en toda su potencia práctica, es decir, a concertar los términos en los que ha de desenvolverse el ejercicio cotidiano de la gestión de la información geográfica para alcanzar sus objetivos más básicos: interoperabilidad y accesibilidad.

Entre sus los contenidos más novedosos y relevantes hay que destacar:

- **Infraestructura geográfica y equipamientos para el Sistema Cartográfico.** Se ha caracterizado así al conjunto de instrumentos técnicos compartidos del Sistema necesarios para la adecuada gestión de la información, sirviendo de soporte a la producción común y armonizada de datos espaciales, y su difusión. Tienen este carácter los siguientes componentes:
 - La Red Andaluza de Posicionamiento, que con una cobertura de la totalidad de territorio andaluz permite la localización mediante GPS con precisión centimétrica.
 - El Nomenclátor Geográfico de Andalucía, cuya creación recoge una amplia tradición de trabajos toponímicos y de desarrollo de sistemas de buscadores.
 - El Repositorio Corporativo de Información Geográfica, cuyo diseño ha comenzado recientemente y podrá organizar el acceso a toda la información geográfica de la Junta de Andalucía, a través de otra infraestructura de referencia, el Catálogo de Datos Espaciales.
 - La IDEAndalucía, un servicio de visualización y descarga de la información geográfica y cartografía de referencia disponible en la Web.
- **La producción: hacia el Dato Único Institucional.** Concepto por el cual se quiere hacer operativo el principio de una producción por el organismo que tiene la responsabilidad y competencia, así como su mantenimiento, con unas determinadas características y parámetros para asegurar su fiabilidad y calidad, haciendo accesible dicha información para que esté a disposición de quien la necesite. El Plan identifica todos los datos temáticos necesarios, siguiendo las directrices de INspirE, asegurando su producción, en determinados casos estableciendo para ello la necesidad de elaborar una Norma Técnica. Son todos los datos relativos a recursos, población, infraestructuras, servicios, límites, toponimia, etc., es decir, un amplio abanico temático que afecta al conjunto de las competencias y funciones de la Administración para el desarrollo de sus políticas.

El Plan prevé las cuestiones relativas a las fuentes directas de información (sensores embarcados en satélites, aeronaves o navíos, así como aplicaciones específicas para la captura de datos con GPS), pero concede una gran importancia a toda información que potencialmente puede tener una dimensión espacial. Así, se apuesta por la generalización de los procesos de geocodificación por unidades administrativas o direcciones postales que supondrá un avance de gran trascendencia en la gestión de la información y generará indudable sinergias que se traducirá en una mayor eficacia del gasto público, pero sobre todo en las potencialidades derivadas de poder disponer de informaciones que puedan correlacionarse.

En este sentido, se destaca el papel de los sistemas de información geográfica departamentales actuales pero se le dota de una mayor potencialidad al formar parte de un sistema de escala superior, el Sistema Cartográfico de Andalucía, una de cuyas herramientas es el denominado SIG Corporativo, concebido como el conjunto de aplicaciones, protocolos de comunicación y estandarización, que faciliten la producción, gestión y difusión de la información geoespacial.

Este bloque es el que requiere un mayor esfuerzo de trabajo coordinado y cooperativo, y por ello se han establecido diversos Programas Temáticos: Teledetección, Fotogrametría, Medio Costero y Marino; Ocupación y Usos del Suelo; Cartografía de Riesgos; Afecciones Territoriales; Geocodificación de Entidades Administrativas y el Programa de Callejero y geocodificación de directorios.

- **Política de difusión: acceso a la información con capacidad de ser usada.** El Plan hace una apuesta fundamental por que la información esté disponible en las mejores condiciones para ser usada sin más restricciones que las derivadas de la legislación aplicable. Para ello define los productos, canales y políticas de difusión que deben asegurar tal objetivo.

El Plan define un conjunto de productos elaborados, algunos con cierta tradición, a los que le otorga el rango de “cartografía básica de referencia” por tratarse de procesos de producción que garantizan los niveles necesarios de precisión, resolución, calidad y actualización. Es una obligación ineludible, por consiguiente, garantizar su producción, y el Plan asume sobre ellos un compromiso riguroso:

- Mapa Topográfico de Andalucía 1:10.000 (MTA) con actualización cuatrienal.

- Base Cartográfica de Andalucía (BCA) 1:5.000 con nuevo modelo de datos.
- Ortofotografías (ODA) con resolución de 50 cm y actualización bianual.
- Modelo de Altitudes (MAA) con resolución de 5 m.
- Mapa de Ocupación del Suelo (MOSA) a escala 1:10.000 con actualización cuatrienal.
- Mapa Urbano (MUA) a escala 1:1.000, con actualización a partir del Callejero y Catastro.
- Ediciones de cartografía derivada y temática.

En relación con los Canales de distribución, el Plan establece disposiciones para cumplir con este compromiso básico a través de los siguientes elementos:

- Geoportal de IDEAndalucía con servicios interoperables.
- Servicios web de descarga de la cartografía de referencia.
- Publicaciones digitales o impresas de todas las series cartográficas.
- Servicios de cartoteca y atención al público.
- Creación de la Fototeca de Andalucía.

En cuanto a los derechos de difusión, el Plan hace una apuesta decisiva por facilitar el acceso a la información espacial estableciendo disposiciones relativas a:

- Derechos compartidos por la Junta de Andalucía para los datos del Repositorio Corporativo.
- Acuerdos de cooperación para compartir datos con otras administraciones.
- Difusión a la ciudadanía mediante reserva de derechos, cesión de uso o distribución libre y gratuita.

Finalmente, el Plan presta atención a una serie de actividades de promoción de las que ya existe larga experiencia. Se trata de la organización de actividades de difusión y promoción de la cartografía, y la publicación de materiales didácticos.

- **Mejora de los procesos de producción y su gestión: formación e I+D+i.** Es absolutamente clave para ser coherente con los objetivos y estrategias definidas que haya una apuesta firme por la formación y las actividades de Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i). El Plan asume las directrices de la planificación en estas materias y propone un conjunto de líneas de trabajo específicas de este sector:
 - Creación de un marco para el impulso de las actividades de formación, investigación, desarrollo e innovación.
 - Elaboración de una Agenda de Investigación, en coordinación con el PAIDI.
 - Ayudas a la investigación con apoyo financiero a proyectos. Líneas prioritarias en fuentes de datos, posicionamiento, edición, accesibilidad y calidad.
 - Organización de curso, seminarios y talleres formativos.
 - Impulso a las actividades de e-formación.
 - Convocatoria de becas de formación en materia de IG.
 - Creación de un repositorio de recursos formativos.

CONCLUSIÓN

En conclusión, el Plan equivale, utilizando la analogía con un término clásico de la historia de la cartografía náutica, al “libro derrotero” de la cartografía del siglo XXI. El derrotero, según definición literal de la RAE, es “*el camino, rumbo, medio tomado para llegar al fin propuesto; el conjunto de datos que indican el camino para llegar a un lugar determinado; el libro que contiene estos caminos o derrotas*”. Para estos cuatro años próximos, y posiblemente para algunos más, el Sistema Cartográfico de Andalucía adopta con este Plan un rumbo cuyo fin no es otro que dar un salto cualitativo en la gestión de la información geográfica como instrumento necesario para las políticas públicas y como servicio a la ciudadanía, y que, por añadidura, supondrá la consolidación del propio Sistema como modelo de coordinación y cooperación en esta materia.

Alonso-Pastor, Fernando y Leránoz, Ana (2008): Integración de datos y herramientas SITNA en la gestión: GEO-WORK-FLOW en los planes de producción y gestión de estiércoles en Navarra. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial (Jornadas Técnicas)*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 824-838. ISBN: 978-84-96971-53-0.

INTEGRACIÓN DE DATOS Y HERRAMIENTAS SITNA EN LA GESTIÓN: GEO – WORK - FLOW EN LOS PLANES DE PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DE ESTIÉRCOLES EN NAVARRA

Alonso-Pastor, Fernando¹ y Leránoz, Ana²

(1) Dirección General de Medio Ambiente y Agua. Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente. Gobierno de Navarra

(2) Departamento de SIG. Trabajos Catastrales, S.A.

RESUMEN

El Gobierno de Navarra cuenta, desde el año 2000, con un elemento organizativo horizontal y corporativo que ha recibido el nombre de “Sistema de Información Territorial de Navarra”, SITNA. En su seno, las unidades de la Administración, regional y local, integran y mantienen actualizada la información territorial para su difusión a los ciudadanos y para la mejora de los procedimientos administrativos.

En esta ponencia se presenta un ejemplo de cómo el SITNA y la experiencia adquirida por la empresa pública Trabajos Catastrales, permiten integrar datos y herramientas para solucionar problemas específicos de gestión. La creación de herramientas que realizan el ciclo completo de gestión de un expediente no es ninguna novedad en las Administraciones Públicas, ya son menos aquellas que permiten hacer esto por tele-tramitación, pero son aún una minoría las que, como la solución que aquí se presenta, incorpora la componente geográfica en la tramitación, como un elemento clave, que introduce en el sistema el propio ciudadano y cuyo resultado es utilizado para la conclusión con éxito de su solicitud. Por tanto, se trata de mostrar de qué forma datos alfanuméricos y territoriales pueden trabajar juntos a la perfección con objeto de facilitar los trámites tanto a los ciudadanos como a los técnicos y cómo se pueden poner en valor colecciones de geodatos con un propósito muy distinto de aquel para el que fueron recogidos.

El reto para la Administración Ambiental ha consistido, por un lado, en ser capaz de realizar la correcta tramitación de las autorizaciones en el menor tiempo posible, por otro, en facilitar la redacción de estas solicitudes, sobre todo en su parte más técnica y todo ello con los máximos controles de calidad.

Palabras Clave: Geo-Work-Flow, Visor Geográfico, Análisis Espacial, Gestión del Territorio, SITNA

ABSTRACT

The Government of Navarre has, since 2000, an horizontal and corporate organizational element which is known as "Territorial Information System of Navarre," SITNA. Different units from public administration, at regional and local level, integrate and keep the territorial information updated for dissemination to the public and improvement of administrative procedures.

This paper presents an example of how SITNA supported by technical experience from the public company Trabajos Catastrales, S.A., allow to integrate data and tools to solve specific problems of management. The experience using tools that perform the complete cycle of process management is not new in public administrations, being less those realizing this management by tele-processing. The solution we present goes further, incorporating the geographical component to the process, as key element, allowing the citizen introducing information and retrieving this information in order to better manage the application to reach a successful result. Thus, we try to demonstrate how alphanumeric and territorial data can work perfectly together in order to facilitate the management not only for citizens but also for technicians and how geographical information can be reuse for other purposes moreover those it was collected.

Therefore, the challenge for Environmental Administration lie in be able to perform a right handling of environmental authorizations in the shortest time, facilitating the redaction of this applications mainly on the technical aspect, and essentially with the highest quality controls.

Key Words: Geo-Work_Flow, Geographical Viewer, Spatial Analysis, Territorial Management, SITNA

INTRODUCCIÓN

El texto del artículo se estructurará en los siguientes títulos: antecedentes, objetivos, contenido del Plan Territorial, solución tecnológica y conclusiones.

El enmarque normativo de este trabajo parte del desarrollo de la LEY 16/2002, de prevención y control de la contaminación, en su aplicación a la actividad ganadera. Para ello, la Comunidad Foral de Navarra desarrolló el Decreto Foral 148/2003, modificado por Decreto Foral 76/2006, en el que establecen las condiciones técnicas ambientales de las instalaciones ganaderas.

Este tipo de instalaciones constituyen uno de los grupos de actividades que, potencialmente, y si no se establecen medidas correctoras, pueden causar afección a los núcleos de población y al medio ambiente, especialmente a la calidad de las aguas.

Posteriormente y para articular la tramitación de las licencias de actividad, por Orden Foral 234/2005, se establecieron las condiciones aplicables a la producción, almacenamiento y gestión de estiércol, con un plazo de adecuación de las instalaciones ganaderas y gestores de residuos ganaderos que termina el 1 de octubre de 2008.

En el caso de Navarra esta normativa le es de aplicación a más de 2.000 explotaciones ganaderas con un previsible agrupamiento de solicitudes en el final del plazo. Por ello, el reto para la Administración Ambiental ha consistido, por un lado, en ser capaz de realizar la correcta tramitación de las autorizaciones ambientales en el menor tiempo posible, por otro, en facilitar lo máximo posible la redacción de estas solicitudes, sobre todo en su parte más técnica y, todo ello, con los máximos controles de calidad.

ANTECEDENTES

El Decreto Foral 148/2003, modificado por Decreto Foral 76/2006, que establece las condiciones técnicas ambientales de las instalaciones ganaderas, recoge que con antelación al 1 de octubre de 2008, los titulares de las instalaciones ganaderas existentes de capacidad superior a 20 UGM, presentarán ante el Departamento de Medio Ambiente el correspondiente “Plan de Producción y Gestión de estiércoles”. Además, dicho Plan debe formularse aplicando las “Mejores Técnicas Disponibles” del momento.

Tabla 1. N° de cabezas de ganado equivalentes a 20 UGM

Tipo de Explotación	N° de cabezas para 20 UGM
Porcino reproductor	80
Porcino cebo	166
Gallinas puesta	2.222
Pollos cebo	5.000
Vacuno reproductor	20
Ovino reproductor	133
Cunícola reproductor	2.000
Equino reproductor	22

Según la Tabla 1, de conversión de unidades UGM (Unidades de Ganado Mayor), la normativa le es de aplicación a más de 2.000 explotaciones ganaderas, repartidas por toda la geografía de la Comunidad.

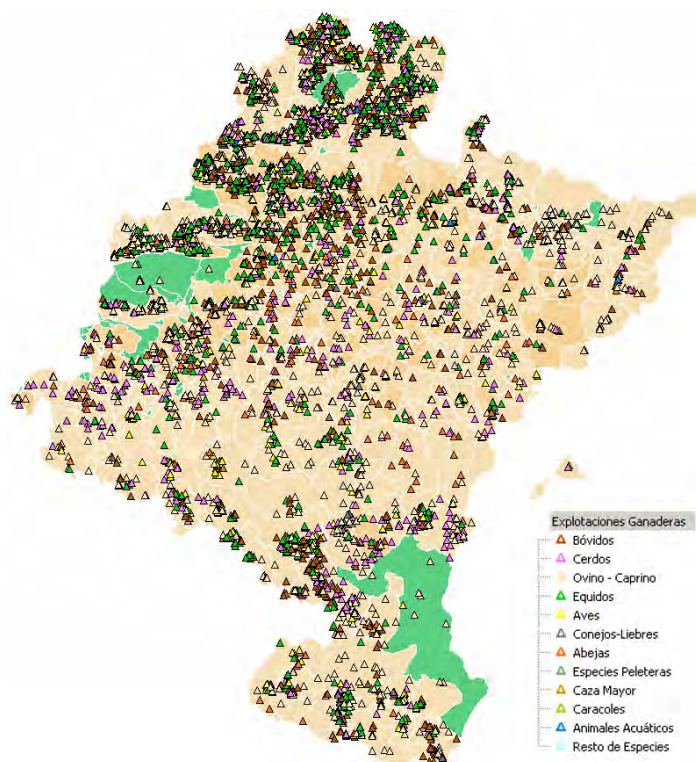


Figura 1. Distribución geográfica de las instalaciones ganaderas de Navarra.

OBJETIVOS

A la vista de la oportunidad que significaba la presentación de las solicitudes de autorización, para incorporar criterios ambientales modernos, atender las numerosas quejas o denuncias que determinadas actividades habían generado por su proximidad a núcleos urbanos en expansión y en acuerdo con las organizaciones profesionales y sindicales del sector, se formularon los siguientes objetivos a alcanzar:

- Actualizar los planes incluidos en los proyectos de Licencia de Actividad.
- Crear un registro de parcelas receptoras de estiércol.
- Que los nuevos planes tuvieran entre sus características: ser reflejo de la realidad, de fácil elaboración y dinámicos.
- Unificar los criterios y parámetros a utilizar.

A continuación se presenta un breve resumen de la metodología seguida para detenernos especialmente en la explicación de la solución tecnológica y el análisis espacial realizado.

CONTENIDO DEL PLAN TERRITORIAL

Los elementos básicos que contiene un Plan de Producción y Gestión de estiércoles son:

- Datos generales del promotor
- Plan de emisiones
- Plan territorial de reparto de estiércol

- Libro de Registro de gestión

Con el fin de unificar los criterios técnicos de funcionamiento de la explotación y su repercusión en la generación de residuos, se contó con el asesoramiento de los técnicos del Instituto Técnico Ganadero, quienes generaron una serie de ecuaciones de correspondencia entre la alimentación, régimen de estabulación, etc. y la cantidad y características químicas de los residuos generados. Elementos clave para la correcta formulación de la capacidad de almacenamiento en las propias instalaciones y para el plan territorial de reparto.

Sobre el soporte que supone este trabajo, se trataba de dar cabida, al promotor de la instalación ganadera, al técnico redactor del plan, a la posible existencia de un gestor de residuos, cuando no se trata del propio ganadero en su doble perfil de agricultor y, por último, a los técnicos de la Administración Ambiental que deben promover su aprobación.

Roles:

Promotor



Técnico Redactor



Gestor de estiércol



Administración



nº de personas involucradas

Figura 2. Roles de las personas involucradas en el Plan

Los Planes deben ser elaborados por técnicos competentes y garantizar que:

- Se realiza la aplicación de estiércol ajustada a los requerimientos agronómicos de los cultivos.
- La capacidad de almacenamiento mínima está garantizada.

La Periodicidad de presentación es variable, dependiendo de la especie y de la capacidad de almacenamiento, desde todos los años a cuatrianual.

Entre los datos a recoger se trata la alimentación, el consumo de agua, las superficies útiles, las especies cultivadas y sus zonas agroclimáticas y las épocas de aplicación

SOLUCIÓN TECNOLÓGICA

Con la experiencia previa adquirida, por parte de la Administración Ambiental, en la gestión de proyectos que incluyen la tramitación informatizada de expedientes administrativos y en el manejo y generación de información geográfica. Con el soporte de la información, también geográfica, del resto de las unidades administrativas del Gobierno de Navarra y otras instituciones, a través del Sistema de Información Territorial de Navarra (SITNA) y con el apoyo técnico y tecnológico de la empresa Trabajos Catastrales, S.A. nos planteamos que era factible abordar esta situación.

Así, para dar cabida a todos los requerimientos anteriores se decidió crear tres soluciones tecnológicas, en las que nos detendremos más detenidamente:

1. Página web para introducción/mantenimiento de la información, básicamente alfanumérica, de los planes por parte del promotor o del técnico redactor con:

- Cálculos automáticos (en base a las ecuaciones de correspondencia).
- Posibilidad de hacer simulaciones.
- Fácil respuesta a los requerimientos de Medio Ambiente.
- Con un componente SIG para mantenimiento del registro del plan territorial de reparto

2. Capa geográfica de aptitud para el plan de reparto (cumpliendo los requerimientos del anejo V del Decreto Foral 148/2003)

3. Visor geográfico cliente-servidor (Visor SITNA con perfil específico) para acceso a los expedientes por los técnicos de Medio Ambiente

1. Página web



- **Gestión de planes**
- **Solicitud de alta como técnico**
- **Solicitud de alta como gestor de estiércoles**
- **Administración del sitio**
- **Verificación / modificación de datos de usuario**
- **Visor geográfico**
- **Preguntas frecuentes**
- **Ayuda**

Figura 3. Menú principal de la aplicación web (<https://e-stercolado.navarra.es/>)

Esta herramienta realiza las siguientes tareas:

- Unificación de criterios y métodos.
- Valoración de todos los factores implicados (definidos en el art. 3.5. de la Orden Foral 234/2005)
- Fácil acceso a información útil para la realización del plan.
- Cálculo automático de emisiones, superficies, dosis aplicadas...
- Facilidades para el técnico redactor:
 - Acceso a ayudas sobre especies (alimentación, manejo, producción de estiércol...)
 - Cálculo automático de emisiones (estiércol y elementos minerales)
 - Introducción automática de parcelas mediante el SIGPAC.

- Cálculo automático de superficie disponible y útil para la aplicación del estiércol
- Plan de reparto. Acceso a ayudas sobre necesidades de cultivos, épocas de aplicación, zonas agroclimáticas.
- Información por cultivo. El técnico puede comprobar que su plan de reparto se adapta a las necesidades de los cultivos.

Figura 4. Pantalla para la captura de los datos del promotor

Semanas	% de proteína del pienso	% de fósforo en pienso
0-2	22	0,75
3-4	21	0,7
5-6	20	0,67
>6	19	0,6

Figura 5. Pantalla para la captura de los datos de la explotación

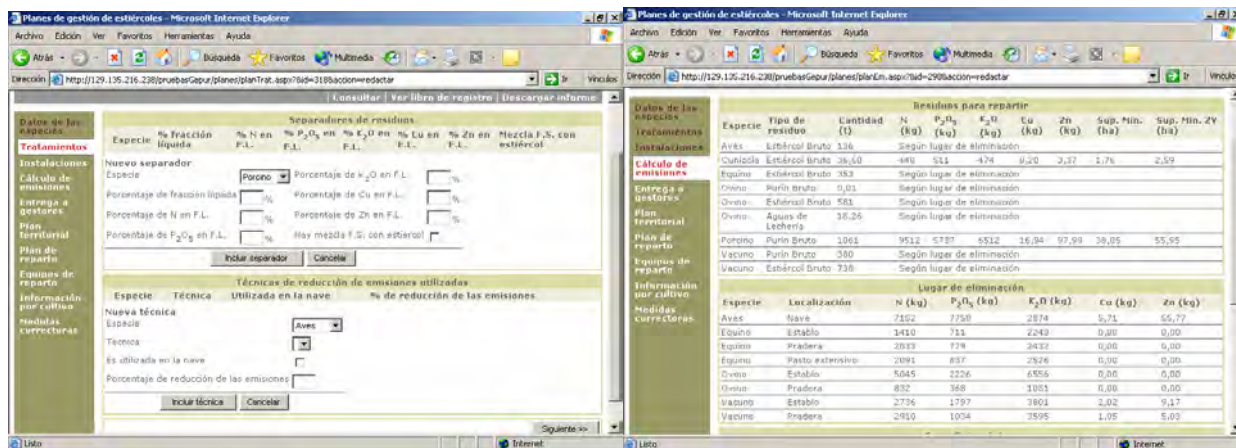


Figura 6. Con posibilidad de realizar cálculos y simulaciones

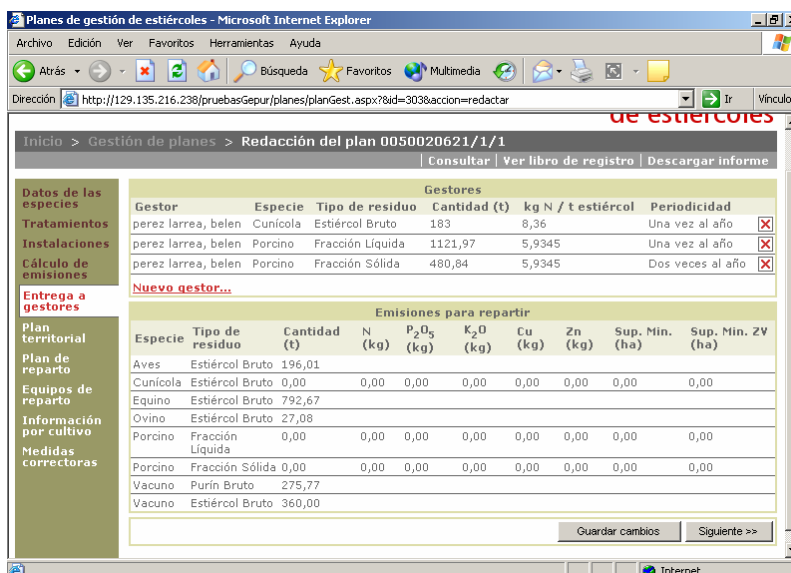


Figura 7. Con entrega de los residuos al gestor

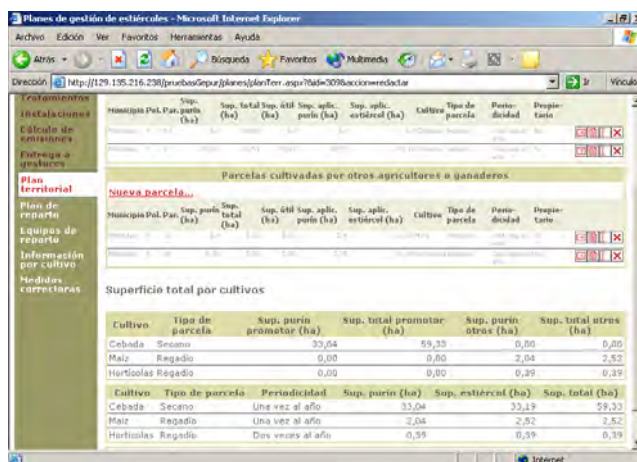


Figura 8. Que realiza el Plan Territorial de reparto de los estiércoles

Para realizar este Plan Territorial se dotó a la aplicación web de una ventana geográfica fácilmente accesible desde la página de la figura 8. Las parcelas a incluir son accesibles mediante la introducción de los datos catastrales, cuando son conocidos o a través de las utilidades de navegación.

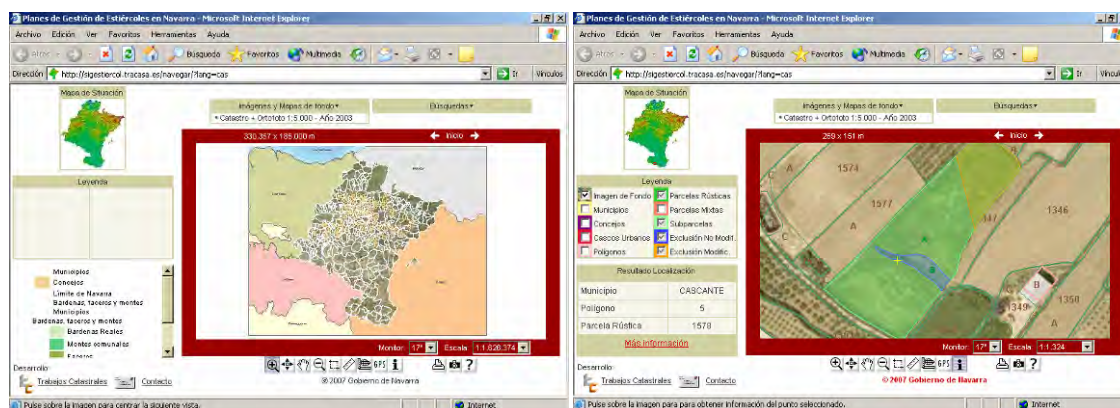


Figura 9. Visor web geográfico para asignación de parcelas al Plan Territorial

Los distintos colores en la leyenda de las capas y las utilidades que ofrece el Visor geográfico, con intercambio directo de datos de superficies con la aplicación web, están motivadas por la limitación del riego agrícola con estiércol líquido a las distancias que se definen en el anejo V del Decreto Foral 148/2003. En este anejo se establecen las distancias de utilización de estiércol líquido:

Tabla 2. Limitaciones por distancia a elementos del anejo del Decreto Foral 148/2003

Distancia respecto a	Distancia a respetar
1. Caminos	5 m
2. Carreteras	15 m
3. Núcleos de población menores de 300 habitantes	100 m, 200 m para porcino
4. Núcleos de población mayores de 300 habitantes	200 m
5. Cauces de agua, lagos y embalses	35 m, 50 m si la pendiente >10%
6. Pozos, manantiales y embalses para abastecimiento público de agua	250 m siempre respetando el perímetro de protección de los mismos
7. Tuberías de conducción de agua y depósitos para abastecimiento público	15 m
8. Zonas de baño tradicionales	200 m

En todos los casos se excluyen las zonas con pendientes superiores al 20% y el área susceptible de aplicar estiércol líquido se limita a parcelas de uso agrícola únicamente.

Además, la aplicación y el Visor geográfico permiten que el técnico redactor pueda, justificadamente, utilizar algunas de las zonas previamente excluidas.

2. Multi-capa de exclusión

Como se ha podido ver en el punto anterior, el Visor geográfico opera con las parcelas catastrales en base a una serie de criterios, entre los que se encuentran muchos basados en distancias. Esta es precisamente la potencialidad de los Sistemas de Información Geográfica.

Por tanto, se procedió a recopilar las fuentes de datos. Todas estaban accesibles y documentadas dentro del Sistema de Información Ambiental de Navarra (SITNA), por lo que la tarea de producción de esta colección de capas de exclusión pudo realizarse de forma rápida y simultánea a la aplicación web.

A continuación se procedió a construir el proceso de exclusión, manteniendo la fuente, a partir de las siguientes fuentes y criterios:

1. Para la definición de las zonas agrícolas se utilizó el SIGPAC, versión 2006. Algunas categorías contempladas entraban directamente en la categoría de exclusión: superficies de agua, edificaciones, suelo forestal, etc.
2. Pendientes: Modelo Digital del Terreno de 5 m de malla
 - menores al 10%: zonas que no se excluyen para la aplicación de estiércol líquido
 - entre 10 y 20%: se excluyen las zonas que están a una distancia menor a 50 m de un curso de agua
 - mayores al 20%: estas zonas se excluyen para la aplicación de estiércol líquido

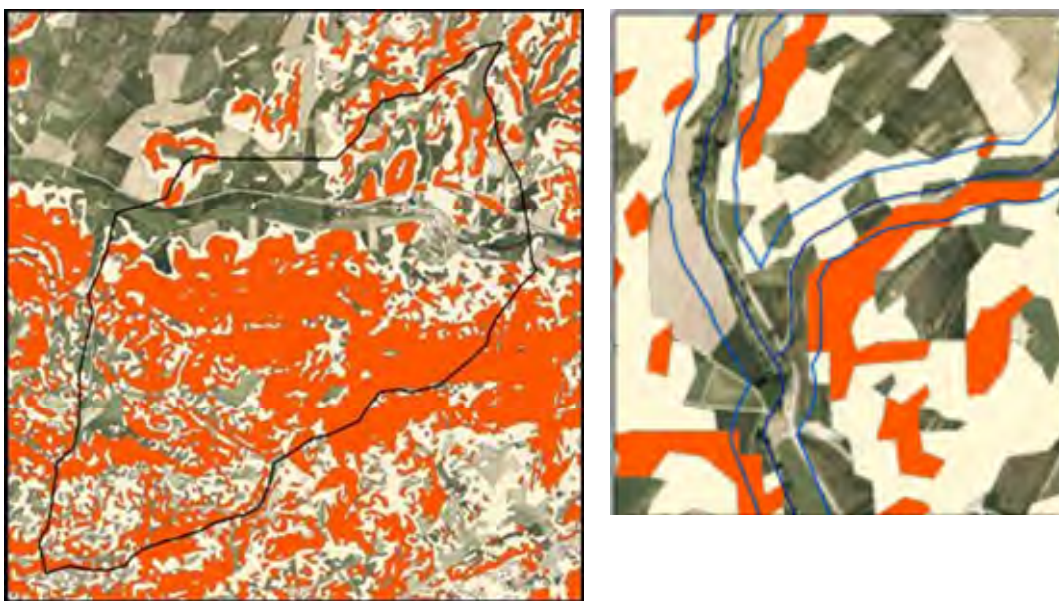


Figura 10. Ejemplo en el municipio Enériz de zonas excluidas por pendiente > 20% (naranja) también están marcadas las zonas entre el 10-20% de pendiente en crema. En la ilustración de la derecha zonas en crema de más de un 10% de pendiente a una distancia menor a 50 m. de un curso de agua que también serían excluidas

3. Carreteras: distancia de 15 metros, salvo en el caso de sistemas de reparto localizado que impidan el aporte de residuos al camino y sus cunetas.

Existe una capa de carreteras elaborada por la Dirección General de Obras Públicas. Se trata de una cartografía actualizada y revisada a E 1:5.000 de ejes de carreteras categorizadas según las normas actuales

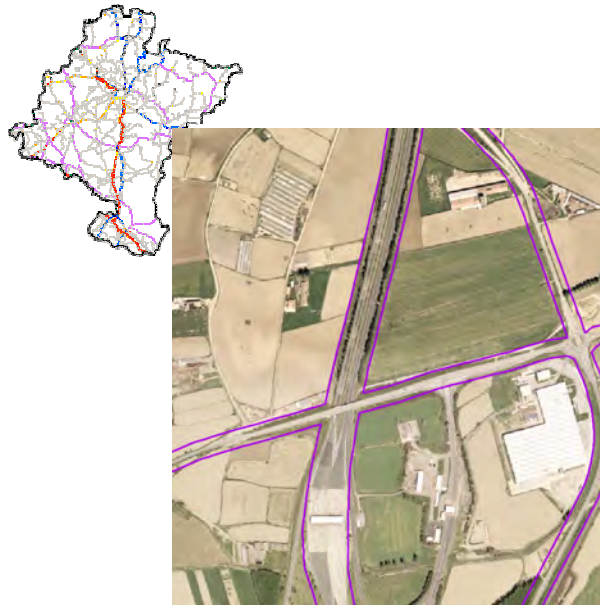


Figura 11. Estas infraestructuras están representadas como ejes de vía en todo tipo de carreteras y con doble eje (uno por cada dirección) en el caso de autopistas y autovías. Al tratarse de ejes centrales se han medido las anchuras medias para las diferentes categorías de carreteras tomando como referencia la ortofoto más actual: Autopista: 19 m de anchura por dirección, autovía: 16 m, de interés general: 9,5 m, de interés para la Comunidad Foral: 7,5 m, de interés comarcal: 7 m y red local: 6 m de anchura

4. Núcleos de población: 200 m para todos los núcleos de población del Sur de Navarra (color rojo en la figura 12), 200 m para aquellos núcleos de población del Norte que superen los 300 habitantes (color verde) y 100 m para aquellos núcleos de población del Norte de Navarra con menos de 300 habitantes (color azul)

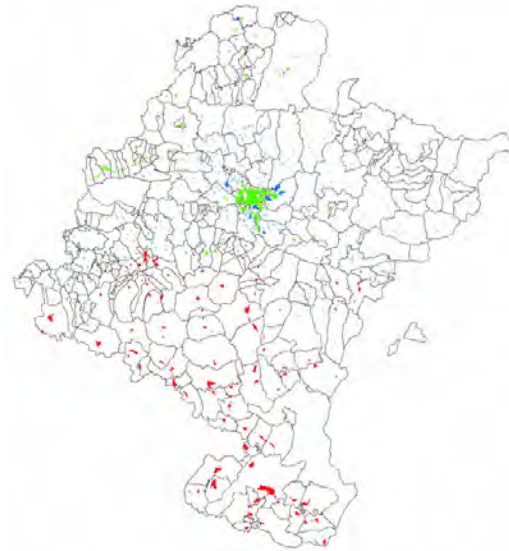


Figura 12. Tomando como referencia estas distancias y utilizando la información cartográfica (delimitación de cascos urbanos de catastro) generada por el Departamento de Economía y Hacienda, se ha aplicado estas áreas de influencia para la generación de la capa de exclusión por núcleos de población. Los datos poblacionales proceden del Instituto de Estadística de Navarra.

5. Cauces de agua, lagos y embalses:

- Ríos principales: información procedente del SIGPAC con edición, ajuste e incorporación de tramos en cabecera.
- Ríos no principales: Red Hidrográfica de la D. Gral. de Medio Ambiente. Los ejes se han transformado en corredores según categorías: desde 4 m (regatas) a 15 m (afluente principal)
- Embalses: Masas de agua de la D. Gral. de Medio Ambiente. Se excluyeron los embalses de abastecimiento

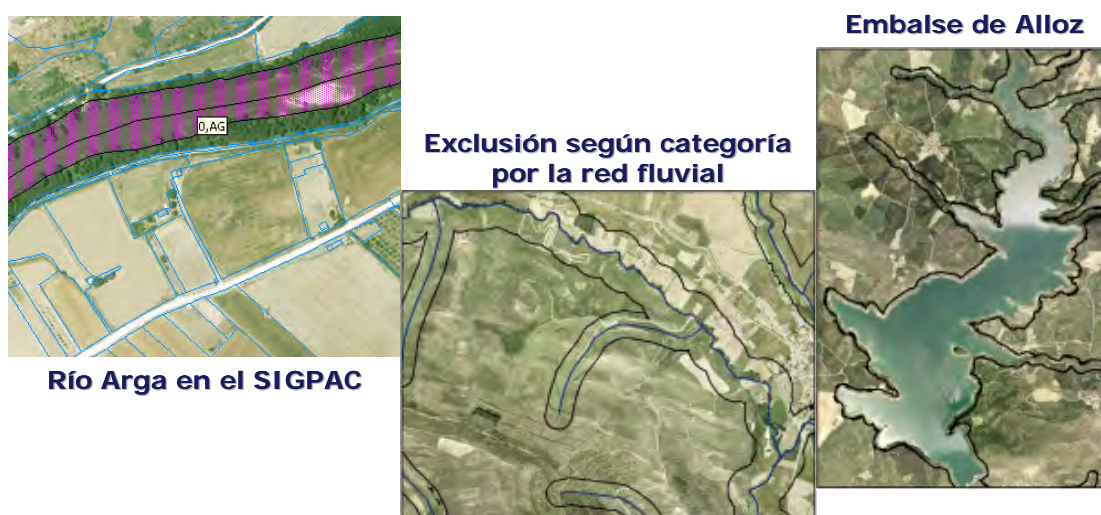


Figura 13. Distancias a cauces fluviales. Fue una de las capas de exclusión que requirieron más labores de edición previa.

- Pozos, manantiales y embalses de abastecimiento. Destacan 338 zonas protegidas por abastecimiento a poblaciones de más de 50 habitantes o que captan más de 10 m³/día. Fuente: Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Zonas de baño tradicionales: exclusión de 200 m. A partir de una relación de coordenadas de la D. Gral. de Medio Ambiente, se identificaron las masas de agua y se aplicó el corredor.

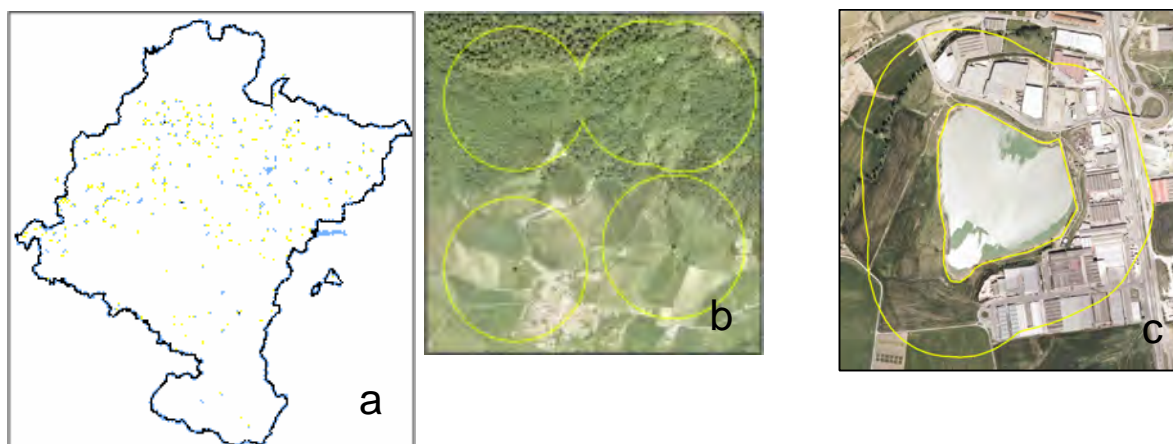


Figura 14. a) Puntos captación de agua y embalses de abastecimiento. b) detalle del buffer de 250 m a partir de los pozos o manantiales y c) corredor alrededor de una balsa.

El resultado final de agrupación de las capas dio origen a una multicapa en la que cada área guardaba la fuente de la/s razón/es de su exclusión.

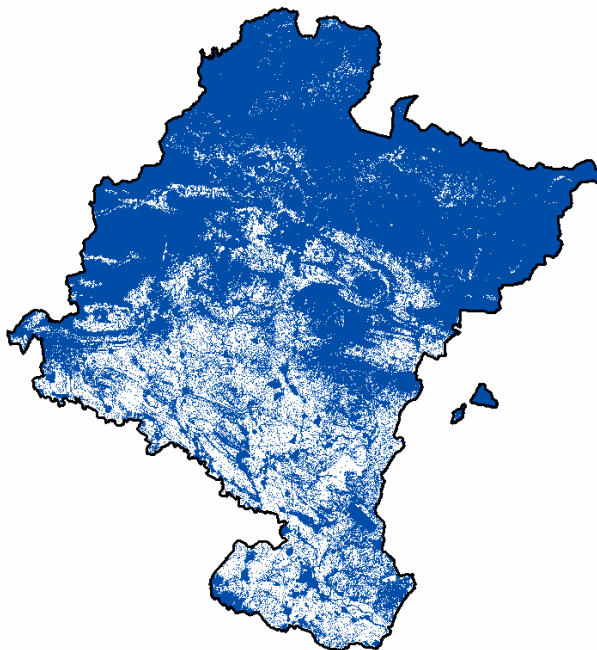


Figura 15. Multi-capa de exclusión de aplicación de estiércol líquido generada.

Una vez implementada en el Visor geográfico, se podía suministrar una información adicional por parcela:

Resultado Localización		Resultado Localización	
Tipo	■ Exclusión No Modif.	Tipo	■ Exclusión Modific.
Superficie	12.861,44 m ²	Superficie	1.364,84 m ²
Proximidad a cauce de agua o lago		Proximidad a carretera	

Figura 16. Información adicional. Motivo de la exclusión y acceso a la exclusión modificable.

Como puede verse en la figura 16, la ventana “Resultado Localización” indica el tipo de información a la que pertenece “Exclusión No Modificable”, su superficie en metros y el motivo o los motivos por el que está excluido:

- uso no agrícola
- proximidad a agua, lagos o embalses
- proximidad a pozo o embalse
- proximidad a abastecimiento público
- proximidad a zona de baño tradicional

- proximidad a cauce de agua y pendiente superior al 10%

De igual forma en la categoría “Exclusión Modificable” con el motivo o los motivos por el que está excluido:

- pendiente superior al 20%
- proximidad a carretera
- proximidad a núcleo de población

La inter-operación completa entre la aplicación geográfica y la base de datos en web permite al técnico redactor hacer el ajuste entre el volumen de residuos y la superficie necesaria para su eliminación a través del Plan Territorial.

3. Aplicación cliente-servidor

El último elemento consiste en una herramienta de Work_Flow desarrollada en .NET, que trabaja en entorno “cliente-servidor” accediendo a los datos en tiempo real. El acceso a los datos georreferenciados se hace mediante una adaptación del Visor Geográfico Desktop del SITNA con un perfil específico para el tratamiento de esta información. El objetivo de esta herramienta es:

- Ser el entorno para la validación de los planes
- Emisión de requerimientos por correo electrónico
- Control de las parcelas receptoras de estiércol
- Control de los parámetros con valores no predeterminados.
- Control de los libros de registro
- Cada técnico de la Administración se asigna los planes que va a validar
- Listado de planes asignados según estado: en redacción, redactado, aprobado provisionalmente, definitivamente o con informe desfavorable.

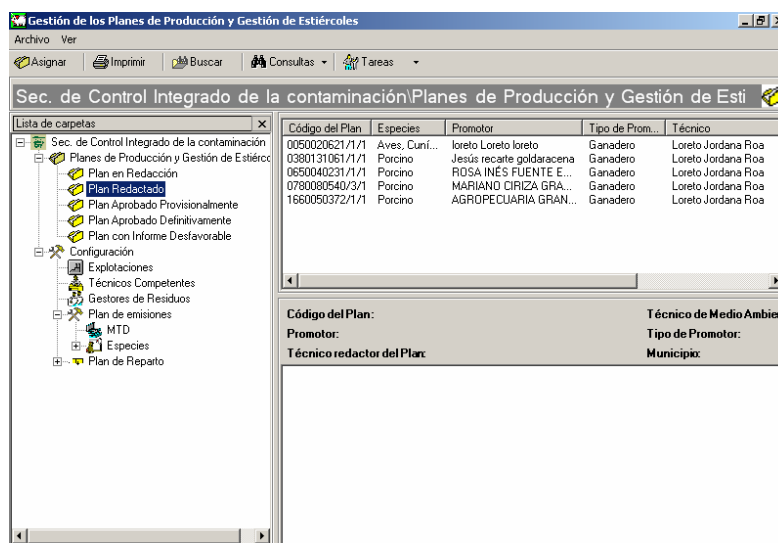


Figura 17. Aplicación de Work-Flow para el seguimiento de los expedientes.

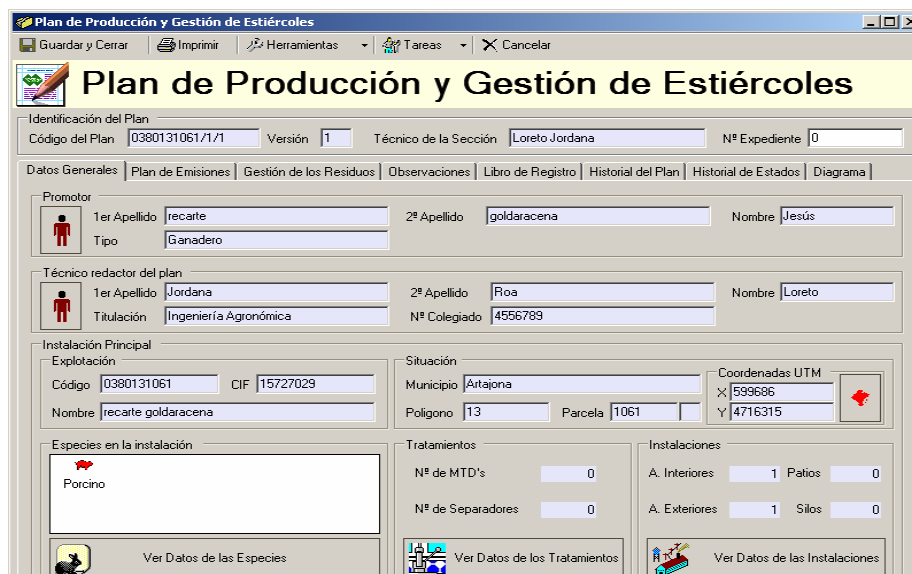


Figura 18. Imagen de una de las pantallas de la aplicación en que se accede a los datos introducidos por Internet.

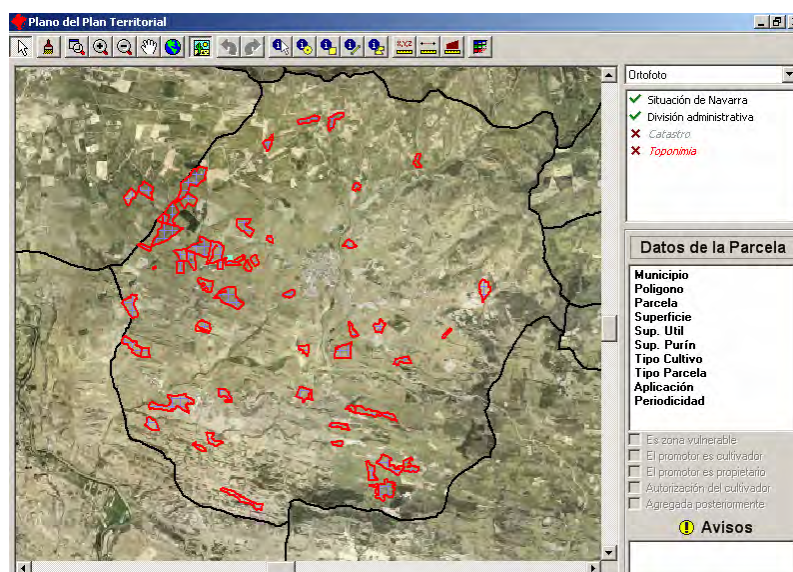


Figura 19. Imagen de la pantalla del Visor del registro del plan territorial con los parcelas seleccionadas a través del Visor web

CONCLUSIONES

Varias jornadas, a lo largo de la Comunidad, han permitido dar a conocer el funcionamiento de la herramienta a los técnicos redactores, ganaderos y gestores de residuos con una buena acogida. De las 2.000 explotaciones que necesitaban actualizar su Autorización Ambiental en mayo de 2008 lo habían realizado aproximadamente 1.000.

La puesta en marcha de un sistema tan complejo ha sido posible por el trabajo multi-disciplinar de un completo conjunto de técnicos y el apoyo decidido de varios órganos de la Administración regional. Esto es así,

hasta tal punto, que ya se están planificando los próximos pasos con vistas a crear una versión siguiente con nuevas prestaciones:

- Libro de registro telemático. Si el promotor lleva el libro a través de Internet, se puede hacer el seguimiento de su aplicación del Plan Territorial de reparto al momento, sin hacer necesaria la entrega física del libro en ningún registro administrativo
- Almacenar un histórico de Planes, versionado, historial de estados, seguimiento de las fechas de cada estado y de la existencia o no de requerimientos en cada estado.

Y para terminar, la última conclusión tiene que ver con lo que el proyecto ha supuesto en el proceso de Modernización de la Administración, permitiendo hacer frente a la escasez de recursos humanos y al poco tiempo que existe para la tramitación de un gran número de planes. Sin olvidar, que el trabajo ha sido especialmente facilitado por la existencia previa de un gran volumen de información geográfica en el Sistema de Información Territorial de Navarra (SITNA).

Benazco Fernández, Nieves; Suárez González, Francisco y de la Puente Fernández, Francisco (2008): SIGMUN (Sistema de Información Geográfica Municipal). En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial (Jornadas Técnicas)*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 839-856. ISBN: 978-84-96971-53-0.

SIGMUN (SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA MUNICIPAL)

Benazco Fernández, Nieves (1); Suárez González, Francisco (2) y de la Puente Fernández, Francisco (3)

(1) Ayuntamiento de Mogán. nbenazco@mogan.es

(2) Estudio ITAC S. L. Avda. Mesa y López 45, Local 4. desarrollo@estudioitac.com

(2) Estudio ITAC S. L. Avda. Mesa y López 45, Local 4. coordinacion@estudioitac.com

RESUMEN

El SIGMun (Sistema de Información Geográfica Municipal) es un sistema de información geográfica de ámbito municipal cuya finalidad es la difusión de la información de carácter espacial que generan o mantienen los diversos servicios municipales.

La responsabilidad de la generación, mantenimiento y actualización de la información geográfica seguirá residiendo en los que la tienen en la actualidad. Se trata de poner dicha información en un sistema que permita compartirla, consultarla y obtener de forma sencilla productos geográficos útiles a los diversos tipos de usuarios que los demanden.

Dentro del proceso global de un sistema de información, el SIGMun sería la herramienta municipal para obtener información a partir de los datos provenientes de fuentes diversas. No sólo es una base de datos, si no también el personal, los métodos, procedimientos y equipos que permiten que se complete el ciclo de la información.

Palabras Clave: SIG, municipal.

ABSTRACT

The SIGMun is a geographic information system of municipal level whose purpose is the disclosure of spatial information which is updated by various municipal services.

Responsibility for the generation, maintenance and updating of geographic information will continue to reside in that now have. The finality is putting such information into a system that allows to be shared, viewed and easily obtained useful geographic products to various types of users who demand.

Within the overall process of an information system, SIGMun would be the tool to obtain information from data from various sources. Not only is a database, but also personnel, methods, procedures and equipment that allow completion of the cycle of information.

Key Words: SIG, municipal.

INTRODUCCIÓN

Prácticamente todos los servicios municipales tienen la necesidad de georreferenciar las actuaciones que llevan a cabo en beneficio de los ciudadanos. Por ejemplo, conocer dónde se ubica una obra, las ordenanzas que la afectan y los servicios o suministros que pueden verse afectados es una tarea cotidiana en cualquier oficina municipal. Es por ello que la información geográfica siempre ha existido en los ayuntamientos, muchas veces en forma de planos impresos, bases de datos, hojas de cálculo, simples documentos de texto o archivos CAD, llegando estos últimos sólo a aquellos funcionarios o trabajadores con una formación técnica adecuada.

Con el fin de racionalizar los esfuerzos dedicados a la producción de la información geográfica, se propone SIGMun como un proyecto integrador que tiene los siguientes objetivos:

- Coordinar las necesidades de información espacial, evitando así la duplicación de esfuerzos.
- Promocionar la utilización de la información geográfica en todos los servicios municipales que lo demanden facilitando la consulta mediante una aplicación sencilla e intuitiva para el usuario.
- Garantizar la fiabilidad y actualidad de la información contenida en el sistema de información.
- Ofrecer herramientas de análisis espacial de complejidad adecuada al tipo de usuario final.
- Poner la información geográfica generada por el ayuntamiento a disposición de los ciudadanos.

PRINCIPIOS

El SIGMun supone un nuevo enfoque en cuanto a la información geográfica, por lo que el principal escollo será llegar a aunar voluntades para que se acepte esta nueva organización. Los agentes generadores de información geográfica intervendrán en el proyecto si respetan los siguientes principios:

- Utilización de una única base cartográfica.
- Normalización de la estructura de datos espaciales.
- Aportación de capas temáticas departamentales.

El SIGMun garantiza que si la información cumple determinados requisitos, podrá ser integrada en el sistema y utilizada por todos los usuarios. Los responsables de la calidad y exactitud de los contenidos continuarán siendo los mismos, es decir, los productores de información.

FASES

SIGMun es un proyecto ambicioso que se implementa por fases, de forma que su consecución no suponga unos gastos inabordables: sistemas informáticos, licencias de programas SIG, necesidades de información, desarrollo de portales, carga y estructuración de la información, personal, etc. Por lo tanto, se establecen unas fases para su implantación.

Fase Inicial

En primer lugar hay que aunar voluntades y convencer de las bondades del sistema. El mensaje básico sería: Si tienes información geográfica seguirás siendo dueño de ella pero permite que sea compartida bajo ciertas reglas de normalización.

La fase inicial se aplica a la satisfacción de las demandas elementales de información. Incluye el estudio de las mismas, quiénes las solicitan, la información disponible y la implantación del sistema informático básico para cubrir dichas necesidades. La difusión llegaría a nivel intranet municipal y la herramienta de usuario final sería el visor de cartografía con funcionalidades básicas de visualización y herramientas espaciales también básicas de medida e información.

Naturalmente se incluye en esta fase la elaboración y aplicación de las normas de coordinación y normalización para la puesta en común de la información geográfica.

Fase de Consolidación

Se caracteriza por la posibilidad de interactuar directamente con la base de datos geográfica por parte de los generadores de información geográfica. Se seleccionará una aplicación de base de datos corporativa con capacidad de soporte de datos espaciales, del tipo PostgreSQL con módulo PostGIS. Surgirán en esta fase nuevas necesidades de información que pueden dar lugar a nuevos productos, generalmente desarrollados sobre la car-

tografía básica. Algunos usuarios pueden necesitar herramientas de análisis espacial más sofisticadas, de forma que puedan llevarse a cabo análisis en apoyo a decisiones de cierta trascendencia. Por lo tanto, los productos nuevos pueden ser del tipo callejero, inventario, catálogo y georreferenciación de eventos de interés municipal. Las herramientas pueden ser del tipo gvSIG-Kosmo.

Fase de Expansión

Cuando los productos geográficos y las herramientas de consulta hayan sido probados internamente por los diversos servicios municipales, se podrá acometer la fase de difusión al resto de los ciudadanos. Incluye esta fase el estudio de los sistemas informáticos necesarios para ofrecer un servicio web de calidad y el desarrollo de visualizadores ligeros capaces de soportar estándares para la consulta de información geográfica, tanto propia como de otros servidores de mapas.

ACTORES

En el SIGMun intervienen diversos elementos que tienen cada uno de ellos sus particularidades y que podemos organizar en:

- Productores de información geográfica: Generan y mantienen información geográfica en sistemas propios, generalmente programas CAD.
- Usuarios de información geográfica: Utilizan la información geográfica de otros en sus labores diarias. Son consultores de la información y necesitan herramientas de visualización, consulta e impresión sencillas. Un usuario puede ser al tiempo productor.
- Integradores de información geográfica: Coordinan y gestionan el proyecto en su conjunto. Establecen el modelo de datos del SIGMun, haciendo posible que los diversos productores y usuarios compartan las capas de información disponibles. Además establece la infraestructura informática necesaria para que se pueda llevar a cabo lo anterior.

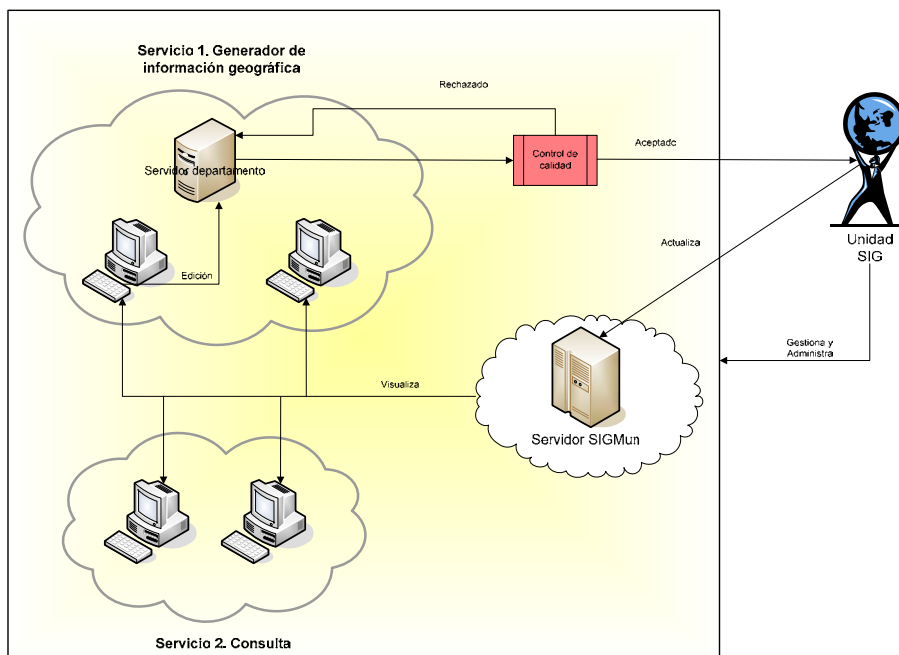


Figura 1. Actores del SIGMun

DESARROLLO DE LA FASE INICIAL

En esta fase inicial es primordial el papel desarrollado por los integradores. El proyecto debe ser gestionado por personal especializado en sistemas de información y pertenecientes a una unidad específica creada a tal fin: Unidad de Información Territorial (geoespacial, de geosistemas, geomática, etc.). Los pasos que debe dar son los siguientes:

- Inventario de la información geográfica existente: Cartografía topográfica, ortofotos, mapas temáticos, catastro, planeamiento, etc. El inventario incluye información básica de formatos, soportes, sistemas de referencia empleados, escalas, actualidad de la información, etc., así como el departamento responsable de la misma. Todo ello recogido en una aplicación de metadatos de cartografía.
- Establecer las necesidades de información de cada departamento: clase de información necesaria, número de usuarios y tipo de cada uno de ellos. Estas necesidades se acomodarán a las fases anteriormente descritas.
- Elección del sistema de información geográfica más adecuado para integrar la información existente y acoger la de producción futura.
- Elaboración del modelo de datos de la información a introducir en el sistema.
- Establecer los protocolos de carga de información y de actualización de la misma. Los protocolos incluyen las características que debe tener la información para ser integrada según el modelo de datos aprobado.
- Determinación de los sistemas de visualización y consulta de cada uno de los usuarios.
- Establecimiento de una política de permisos de acceso a la información: sólo lectura (consulta e impresión), lectura-escritura (edición, consulta e impresión).
- Establecimiento del sistema informático para servir la información a los usuarios: servidores de mapas, servidores de archivos y red de comunicaciones.

Información geográfica de la fase inicial

En la primera fase se cargará en el sistema la cartografía básica disponible, que podrá ser del tipo vectorial o ráster, a escalas 1:1.000 y 1:5.000 la primera y a escalas 1:2.000 y 1:5.000 la segunda. Otras capas disponibles podrían ser: planeamiento, catastro, mapa de ocupación, mapa de vegetación, geológico, etc.

La cartografía topográfica es la de mayor complejidad para la carga y estructuración en la base de datos geográfica. Generalmente se presenta en formato DGN y con poca o ninguna información alfanumérica asociada. Por ser la base espacial de todo tipo de información que luego se puede georreferenciar sobre ella, resulta de gran importancia su mantenimiento y actualización, tarea que se puede llevar a cabo de forma paralela al desarrollo urbanístico de ejecución.

Herramientas de consulta

La cartografía básica tendrá un gran número de usuarios. En esta primera fase las utilidades que se ofrecerán serán de tipo básico:

- Visualización: Herramientas de zum, desplazamiento, fijación de escala, selección de capas a visualizar y personalización de su simbología.
- Consulta de atributos de las entidades espaciales.
- Consulta espacial: Medición de distancias, superficies y zonas de influencia.
- Impresión: Composición de una hoja de mapa en formatos A4 hasta A0.
- Puede darse el caso de algún puesto con mayores capacidades.

No se permitirá la modificación directa de la base de datos geográfica. Las modificaciones darán lugar a un proceso de integración por parte de la Unidad responsable del SIG.

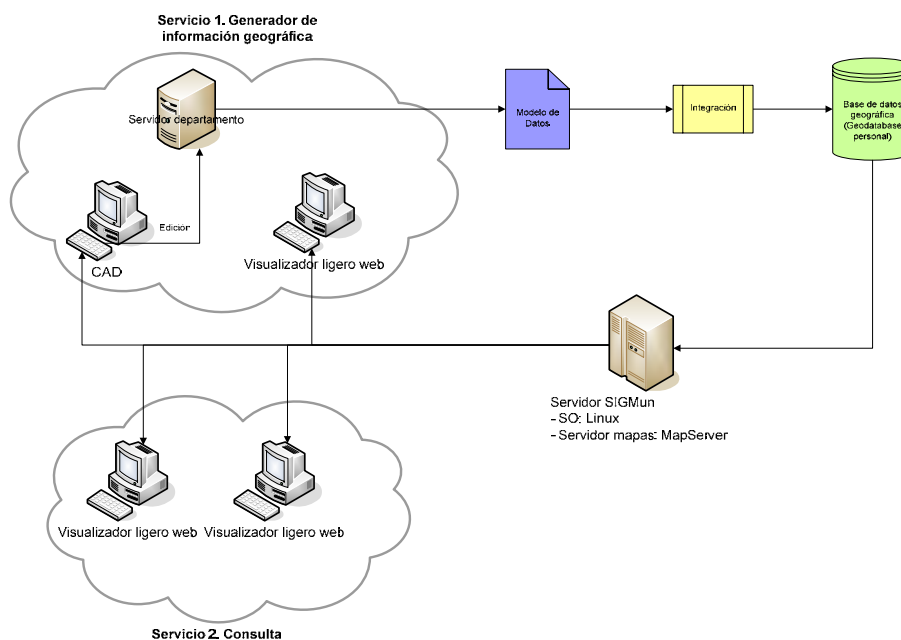


Figura 2. Estructura en la fase inicial

DESARROLLO DE LA FASE DE CONSOLIDACIÓN

Cubierta la necesidad de cartografía básica, se podrá acometer la generación de nuevas capas de información que tendrán como soporte aquella y la implantación de herramientas avanzadas de edición y análisis espacial. Para ello, los responsables del proyecto deben acometer las siguientes acciones:

- Establecimiento del modelo de datos de las nuevas capas de información a incorporar.
- Establecer los protocolos de carga y actualización de las nuevas capas.
- Estudio de nuevas herramientas de análisis avanzadas para aquellos puestos que lo requieran.
- Proponer herramientas de edición gráfica y alfanumérica para que el mantenimiento de la información dentro del sistema se haga de forma fiable. Naturalmente, sólo los generadores de información podrán llevar a cabo tales tareas sobre la información de la que son responsables.

Información geográfica de la fase de consolidación

En esta fase se podrán elaborar nuevos productos geográficos como son:

- Callejero.
- Inventarios: alumbrado público, inmuebles, espacios libres, abastecimiento, saneamiento, red de aguas, etc.

Herramientas de consulta y análisis

Al añadir información a la cartografía básica, el número de usuarios de consulta crecerá. Los visualizadores serán del mismo tipo que los de la fase inicial aunque puedan tener alguna utilidad más de análisis espacial:

contenido en, uniones espaciales, etc. Además, los generadores de información geográfica podrán utilizar herramientas SIG para el mantenimiento de la información, evitando así las transformaciones entre formatos, fuente frecuente de pérdida de datos.

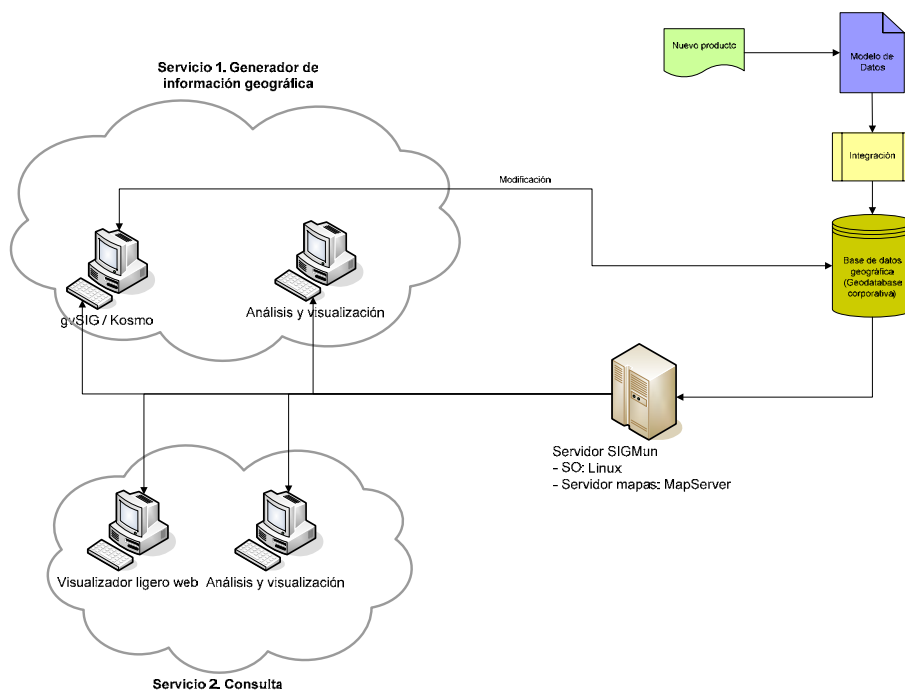


Figura 3. Estructura en la fase de consolidación

DESARROLLO DE LA FASE DE EXPANSIÓN

Esta fase se caracteriza por la extensión del acceso a la información geográfica para todos los ciudadanos a través de Internet. El reto principal será dimensionar de manera adecuada el servidor para Internet, de forma que ofrezca un servicio fiable y rápido.

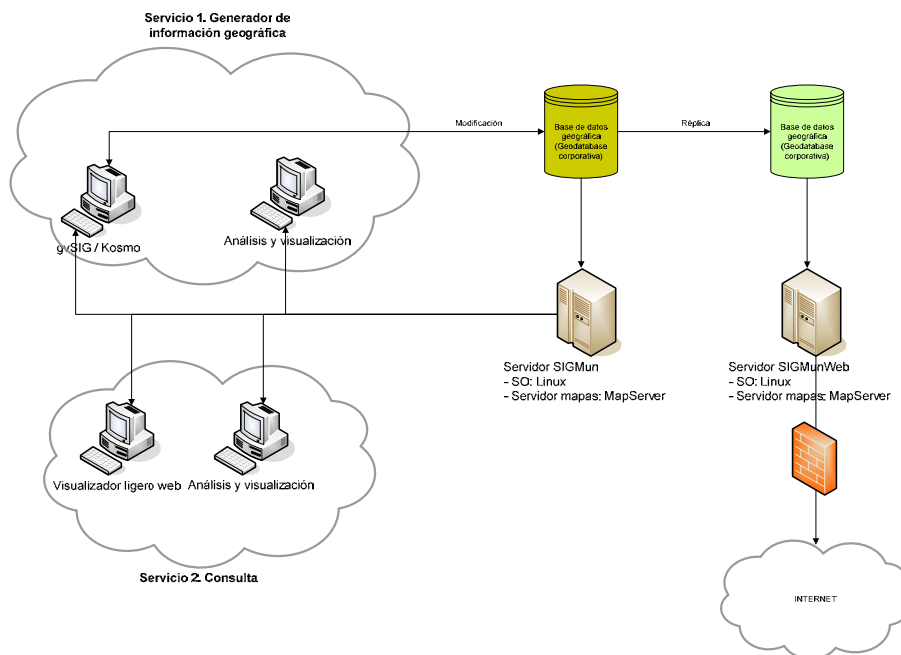


Figura 4. Estructura en la fase de expansión

CARTOGRAFÍA BÁSICA

A modo de ejemplo se dan algunas pautas para la estructuración de la cartografía básica en el SIGMun. Consiste esta fase en la organización de la información procedente de CAD en una base de datos corporativa con soporte para datos espaciales. Se eligió concretamente Postgre con módulo espacial Postgis. Los principios básicos de la estructuración son:

- Organización espacial de la información en capas y agrupamientos lógicos de las mismas. Los sistemas CAD únicamente son capaces de diferenciar entidades por la combinación de atributos gráficos. Esto se puede solventar en un SIG mediante la agrupación en clases de entidad homogéneas en las que la diferencia se establece por el valor de un atributo. Al mismo tiempo el sistema es flexible pues siempre se podrá “aislar” una entidad en particular mediante una consulta de atributo con filtro. Por ejemplo, las curvas de nivel intermedias pueden ser de varios tipos, con valores: normal, depresión y no vista.
- Captura de atributos en formato CAD y agregación de la información a un campo determinado de la base de datos del elemento principal. Es el caso de los centroides de: recintos de suelo urbano, manzanas cartográficas, zonas delimitadas, arboladas e isletas. Por otro lado, hay entidades CAD que son en realidad atributos de otros elementos: cotas y plantas de edificios, etiquetas de patios, etc.
- Continuidad espacial de las entidades geográficas, divididas originalmente en hojas adyacentes.
- Generación de agujeros a partir de los inferidos en CAD (patios e isletas, por ejemplo).
- Manifestar atributos “ocultos”. Tal sería el caso de la etiqueta con la cota de los puntos de cota, que necesita la creación de un atributo funcional para manifestar el valor de la coordenada Z y mantenerlo como un atributo más.

Modelo de datos

También a modo de ejemplo se muestra el modelo de datos final de la cartografía 1:1.000:

Almacén: Altimetría

PuntosAcotados		
PK	ID1	COUNTER
	MapName	VARCHAR(255)
	PointGeometry	LONGBINAR
	mslink	INTEGER
	fname	VARCHAR(64)
	Cota	DOUBLE
I1	PointGeometry_sk	VARCHAR(15)

LineasAltimetria		
PK	ID1	COUNTER
	MapName	VARCHAR(255)
	LinearGeometry	LONGBINAR
	mslink	INTEGER
	fname	VARCHAR(64)
	Cota	DOUBLE
I1	LinearGeometry_sk	VARCHAR(15)

CotasCurvaNivel		
PK	ID1	COUNTER
	GraphicsTextString	VARCHAR(255)
	MapName	VARCHAR(255)
	PointGeometry	LONGBINAR
	TextGeometry	LONGBINAR
	mslink	INTEGER
	fname	VARCHAR(64)
I1	PointGeometry_sk	VARCHAR(15)

Almacén: Edificios

Edificios		
PK	ID1	COUNTER
	Borde_AreaGeometry	LONGBINAR
	MapName	VARCHAR(255)
	fname	VARCHAR(255)
	mslink	INTEGER
	NumPlantas	VARCHAR(50)
I1	Borde_AreaGeometry_sk	VARCHAR(15)
	Cota	VARCHAR(50)
	Texto	VARCHAR(50)
	Uso	VARCHAR(50)

EdificiosSingulares		
PK	ID1	COUNTER
	MapName	VARCHAR(255)
	AreaGeometry	LONGBINAR
	mslink	INTEGER
	fname	VARCHAR(64)
I1	AreaGeometry_sk	VARCHAR(15)
	Texto	VARCHAR(50)

NumerosPortal		
PK	ID1	COUNTER
	GraphicsTextString	VARCHAR(255)
	MapName	VARCHAR(255)
	TextGeometry	LONGBINAR
	mslink	INTEGER
	fname	VARCHAR(64)
I1	TextGeometry_sk	VARCHAR(15)

Almacén: Construcciones

Construcciones		
PK	ID1	COUNTER
	MapName	VARCHAR(255)
	AreaGeometry	LONGBINAR
	mslink	INTEGER
	fname	VARCHAR(64)
	NumPlantas	VARCHAR(50)
	Cota	VARCHAR(50)
I1	AreaGeometry_sk	VARCHAR(15)
	Uso	VARCHAR(50)
	Texto	VARCHAR(50)

ConstruccionesPuntuales		
PK	ID1	COUNTER
	MapName	VARCHAR(255)
	PointGeometry	LONGBINAR
	mslink	INTEGER
	fname	VARCHAR(64)
I1	PointGeometry_sk	VARCHAR(15)

Cerramientos		
PK	ID1	COUNTER
	MapName	VARCHAR(255)
	LinearGeometry	LONGBINAR
	mslink	INTEGER
	fname	VARCHAR(64)
I1	LinearGeometry_sk	VARCHAR(15)

ConstruccionesLineales		
PK	ID1	COUNTER
	MapName	VARCHAR(255)
	LinearGeometry	LONGBINAR
	mslink	INTEGER
	fname	VARCHAR(64)
I1	LinearGeometry_sk	VARCHAR(15)

LineasDecoracion		
PK	ID1	COUNTER
	MapName	VARCHAR(255)
	LinearGeometry	LONGBINAR
	mslink	INTEGER
	fname	VARCHAR(64)
I1	LinearGeometry_sk	VARCHAR(15)

MobiliarioUrbano		
PK	ID1	COUNTER
	MapName	VARCHAR(255)
	PointGeometry	LONGBINAR
	mslink	INTEGER
	fname	VARCHAR(64)
I1	PointGeometry_sk	VARCHAR(15)

Almacén: ElementoSuelo

Complejos		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName AreaGeometry mslink fname AreaGeometry_sk Texto	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15) VARCHAR(50)

ZonasArboladas		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName AreaGeometry mslink fname Tipo AreaGeometry_sk	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(50) VARCHAR(15)

ManzanasCartograficas		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName AreaGeometry mslink fname AreaGeometry_sk	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15)

RecintosSuelo		
PK	ID1	COUNTER
I1	DifferenceGeometry_1 Ocupacion MapName mslink fname DifferenceGeometry_1_sk	LONGBINARY VARCHAR(50) VARCHAR(255) INTEGER VARCHAR(255) VARCHAR(15)

LineasSuelo		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName LinearGeometry mslink fname LinearGeometry_sk	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15)

ZonasDelimitadas		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName AreaGeometry mslink fname Ocupacion AreaGeometry_sk	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(50) VARCHAR(15)

ZonasCartografiadas		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName AreaGeometry mslink fname AreaGeometry_sk	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15)

EtiquetasUsoRustico		
PK	ID1	COUNTER
I1	GraphicsTextString MapName TextGeometry mslink fname TextGeometry_sk	VARCHAR(255) VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15)

Almacén: Hidrografia

Embalsamientos		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName AreaGeometry mslink fname AreaGeometry_sk Texto Cota	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15) VARCHAR(50) VARCHAR(50)

CaucesLineales		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName LinearGeometry mslink fname LinearGeometry_sk Texto	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15) VARCHAR(50)

ConstruccionesHidroLineal		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName LinearGeometry mslink fname LinearGeometry_sk Texto	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15) VARCHAR(50)

Costas		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName LinearGeometry mslink fname LinearGeometry_sk	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15)

CaucesSuperficiales		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName AreaGeometry mslink fname AreaGeometry_sk Texto	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15) VARCHAR(50)

ConstruccionesHidroSuperficial		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName AreaGeometry mslink fname AreaGeometry_sk Texto	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15) VARCHAR(50)

Almacén: Redes

Apoyos		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName PointGeometry mslink fname PointGeometry_sk Texto	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15) VARCHAR(50)

ElementosRed		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName AreaGeometry mslink fname AreaGeometry_sk	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15)

Redes		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName mslink fname Texto LinearGeometry LinearGeometry_SK	VARCHAR(255) INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(50) LONGBINARY VARCHAR(15)

Conducciones		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName LinearGeometry mslink fname LinearGeometry_sk	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15)

Almacén: Toponimia

Toponimia		
PK	ID1	COUNTER
I1	GraphicsTextString MapName PointGeometry TextGeometry mslink fname PointGeometry_sk	VARCHAR(255) VARCHAR(255) LONGBINARY LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15)

Almacén: Viales

IsletasVial		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName AreaGeometry mslink fname AreaGeometry_sk	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15)

CaminosYSendas		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName LinearGeometry mslink fname LinearGeometry_sk Texto	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15) VARCHAR(50)

TextosVial		
PK	ID1	COUNTER
I1	GraphicsTextString MapName TextGeometry mslink fname TextGeometry_sk	VARCHAR(255) VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15)

Viales		
PK	ID1	COUNTER
I1	DifferenceGeometry MapName mslink fname Texto DifferenceGeometry_sk	LONGBINARY VARCHAR(255) INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(255) VARCHAR(15)

LineasVial		
PK	ID1	COUNTER
I1	MapName LinearGeometry mslink fname LinearGeometry_sk	VARCHAR(255) LONGBINARY INTEGER VARCHAR(64) VARCHAR(15)

ESTRUCTURACIÓN WEB

La estructuración final de la cartografía ha de tener en cuenta el medio por el que se ha de consultar, un navegador web. Se tratará de mantener el máximo de información que sea posible compatible con la visualización conjunta de objetos que, a veces, no tienen una relación temática directa.

También se tiene en cuenta el orden de visualización, impidiendo ello que se agrupen entidades con saltos de continuidad grandes en cuanto a su colocación en la leyenda.

También se pueden incluir capas ya generalizadas para visualización a las escalas más pequeñas.

Las clases se disponen en un almacén único de la siguiente forma:

Tabla 1. Agrupación de entidades

Clase de entidad final	Clases de entidad componentes
Apoyos	Redes.Apoyos
AreasSuelo	ElementoSuelo.ManzanasCartograficas
	ElementoSuelo.RecintosSuelo
	ZonasDelimitadas
CaminoYSendas	Viales.CaminoYSendas
Construcciones	Construcciones.Construcciones
CotasCurvaNivel	Altimetria.CotasCurvaNivel
Edificios	Edificios.Edificios
ParcelarioVisto	
EtiquetasUsoRustico	ElementoSuelo.EtiquetasUsoRustico
HidroRedes	Hidrografia.CaucesLineales
	Hidrografia.ConstruccionesHidroLineal
	Hidrografia.Costas
	Redes.Conducciones
	Redes.Redes
HidroRedesSuperf	Hidrografia.CaucesSuperficiales
	Hidrografia.ConstruccionesHidroSuperficial
	Hidrografia.Embalsamientos
	Redes.ElementosRed
LineasAltimetria	Altimetria.LineasAltimetria
LineasComple	Construcciones.Cerramientos
	Construcciones.ConstruccionesLineales
	Construcciones.LineasDecoracion
	ElementoSuelo.LineasSuelo
	Viales.LineasVial
Toponimia	Toponimia.Toponimia
Viales	Viales.IsletasVial
	Viales.Viales
ZonasArboladas	ElementoSuelo.ZonasArboladas
ZonasCartografiadas	ElementoSuelo.ZonasCartografiadas

Queda ahora introducir las clases de entidad de los distintos almacenes en una base de datos Postgre con extensión para tipos de datos geométricos PostGis. Para ello, cargaremos las entidades (archivos shapefile) en gvSIG para, seguidamente, exportarlas a PostGIS. Para obtener los shapefiles, simplemente exportaremos desde el SIG.

CONSULTOR DE CARTOGRAFÍA

El Consultor de Cartografía es una herramienta a la que se accede mediante un navegador web y que permite la visualización gráfica y la consulta alfanumérica de información geoespacial.

Las fuentes de datos están constituidas por los archivos ráster y las bases de datos espaciales que se preparan específicamente con la finalidad de hacerlas accesibles a través de la red interna o de Internet. En concreto se ha elegido geotif para las ortofotos y PostGis (Postgre con soporte para datos espaciales) para los datos vectoriales y sus atributos. Además se puede añadir cualquier capa de un servicio WMS.

Todos los elementos que hacen posible el Consultor son de código abierto, por lo que pueden ser distribuidos sin limitación de licencias o patentes.

Los mapas son servidos por MapServer, reconocido como uno de los más potentes servidores de mapas por Internet. MapServer permite la confección de mapas listos para su explotación por parte del usuario, el cual recibe en su navegador el resultado final en forma de imagen.

Del lado del usuario MapServer se complementa con ka-Map, una API de javascript para el desarrollo de interfaces web-mapping altamente interactivas. No es necesaria ningún tipo de instalación en la parte del cliente.

Como servidor HTTP se ha escogido Apache, también uno de los más populares desde 1996. Y todo ello instalado en una máquina con sistema operativo Linux.

The logo for MapServer, featuring the word "MAPSERVER" in a stylized, outlined font.

<http://mapserver.gis.umn.edu/>



<http://ka-map.maptools.org/>



<http://httpd.apache.org/>

Especificaciones

El Consultor de Cartografía tiene los siguientes componentes:

- Ventana principal de gran tamaño.
- Escala gráfica.
- Mapa de situación para la ubicación de la ventana principal en su entorno.
- Barras de herramientas: Visualización, Consulta, Impresión, Medidas, Croquis.
- Leyenda con controles propios.
- Ventana de resultados de consultas.
- Módulo de impresión georreferenciada.
- Módulo de búsqueda por callejero.
- Módulo de búsqueda general.

Rendimiento de la aplicación

Son varios los factores que influyen en el rendimiento de la aplicación, unos propios y otros ajenos. Para mejorar el rendimiento se utilizan dos técnicas principales:

- Pre-cachés: Al modo de porciones de mapas. Se generan en el servidor por cada capa y por cada escala definida para ella. MapServer comprueba antes de generar un mapa si tiene ya creados los trozos necesarios. Si es así, compone el mapa final y lo envía por la red. Las pre-cachés se generan mediante ka-Map.
- Archivos temporales: Del lado del cliente, ka-Map comprueba si el mapa solicitado o alguna de sus partes existe por haber sido ya solicitadas anteriormente, incluso en otra sesión diferente. Se cargan en la página los trozos existentes y el resto se solicitan a MapServer.

Según esto, ha de tenerse en cuenta que cuando se modifica un mapa existente o se crea uno nuevo, hay que regenerar las pre-cachés, además, han de borrarse los archivos temporales de Internet para actualizar la información.

Mapa del Consultor

La página del Consultor se divide en las siguientes partes:

1. Cabecera de la página. Adaptada a la empresa u organismo propietario.
2. Barra de herramientas. En ella se alojan los botones que nos permitirán interactuar con la aplicación y muestra las coordenadas de posición del puntero o herramienta seleccionada.
3. Ventana multiuso. Su contenido depende de la acción que estemos ejecutando. Da cabida a elementos dispares, desde la leyenda del mapa que estamos visualizando al resultado de una medida.
4. Mapa de situación. Vista general de la zona de mapas en donde se indica el lugar donde se centra la vista del mapa actual.
5. Mapa. Ventana principal y zona de trabajo. Amplia, de forma que a las escalas mayores se visualice una porción de territorio suficiente.
6. Escala gráfica. Sobreimpresa con transparencia en la ventana del mapa.
7. Ventana de resultados. Muestra el resultado de la consulta hecha con el ratón sobre las capas que la admiten.

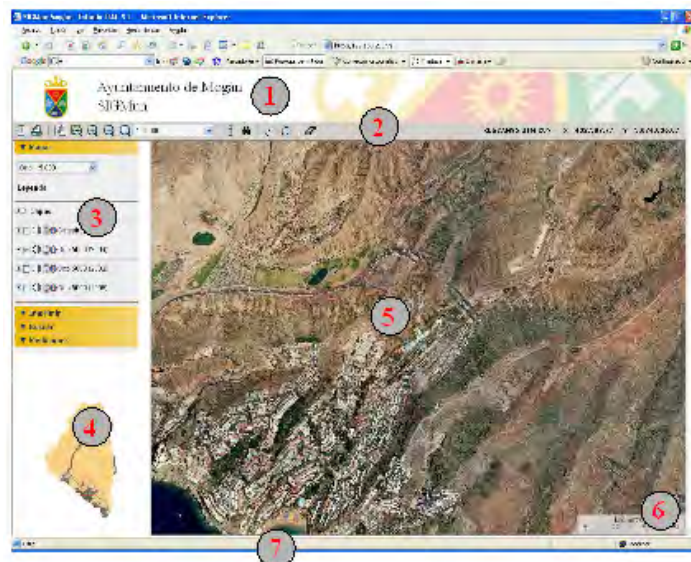


Figura 5. Mapa del consultor de cartografía

Los mapas son los elementos principales de la aplicación. Cuando se inicia la página se muestra uno por defecto a una escala de visualización pequeña, de forma que abarque todo el territorio. Cada mapa tiene una o varias capas que se muestran en la leyenda y sólo aparecen las visibles a la escala actual.

Las escalas están predeterminadas, no siendo posible la visualización a otras distintas. Cuando se hace una selección mediante ventana con la zona seleccionada se ajusta a la escala más cercana.

Para cambiar de mapa haremos clic en la barra Mapas y seleccionaremos uno del combo que se nos muestra. El nuevo mapa se visualizará a la misma escala que el que se cierra, caso de que la tenga; en otro caso, se mostrará a la escala menor más cercana. Además el centro del mapa será el mismo en ambos, el que se cierra y el nuevo seleccionado, asegurando de esta forma la visualización de la misma zona de terreno aún cambiando de mapa y escala.

Algunas posibilidades de los mapas son:

- Cambio de escala mediante la rueda del ratón.
- Cambio del orden de visualización de las capas.
- Modificación de la transparencia de las capas.
- Controles para desplegar/recoger la leyenda.
- Indicación de las capas que son susceptibles de consulta



Figura 6. Mapa: leyenda con controles

El resultado de una consulta aparece en una nueva ventana que se abre en la parte inferior de la página, provocando la aparición de una barra de control de visualización vertical de la página. Se muestran, por cada capa consultada, el número de resultados obtenidos, los campos con sus valores y un botón de “Zum hacia” que nos permite hacer un zum a la máxima escala posible sobre el elemento elegido. Esta ventana se puede eliminar cuando ya no es necesaria.

Capa: Urbanizaciones (Resultados: 5)	
nombre	Suma fracia
SUITE PRINCESS	
LAGO TAURITO	
TAURITO PRINCESS	
CALA BLANCA	
DUNAFLORES TAURITO	

Figura 7. Mapa: resultado de una consulta

Algunas de las vistas obtenidas son:

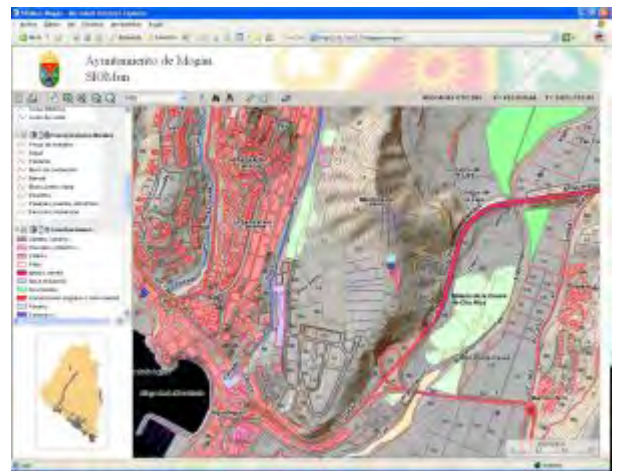
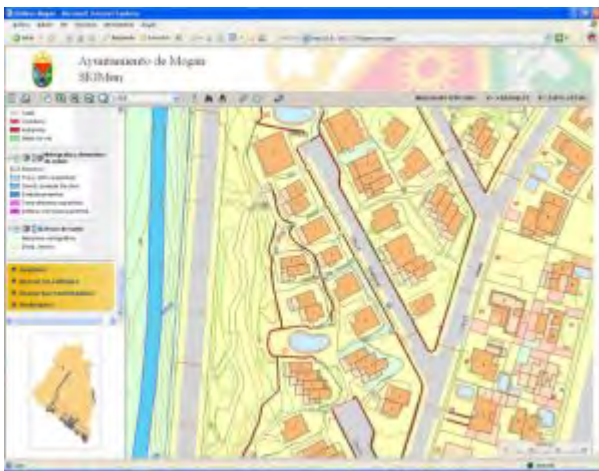


Figura 8. Vistas de cartografía 1:1.000 (izqda) y 1:5.000 (drcha)

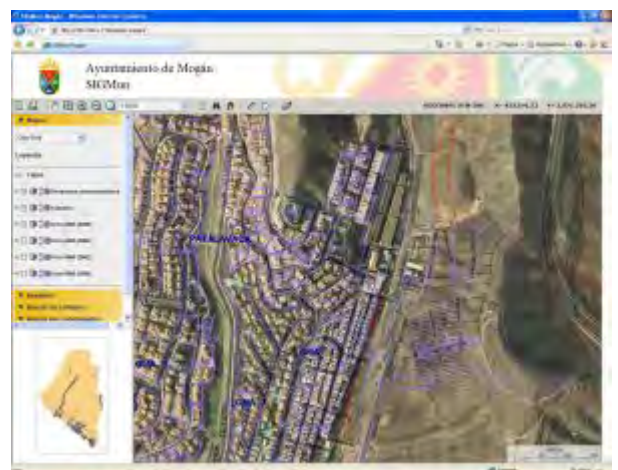


Figura 9. Vistas de ortofoto 1:2.000 con callejero (izqda) y ortofoto 1:5.000 y catastro (drcha)

SERVIDOR DE MAPAS: MAPSERVER

MapServer es un programa CGI (Common Gateway Interface, estándar para implementar interfaces de aplicaciones externas con servidores de información, como HTTP o servidores Web). A diferencia de un documento plano HTML, un programa CGI se ejecuta en tiempo real, por lo que la información puede ser dinámica.

También puede operar en modo MapScript (API accesible desde Perl, Python y PHP). De esta forma se pueden llevar a cabo consultas espaciales que no son posibles en modo CGI.

MapServer se basa en plantillas. La primera vez que se ejecuta como respuesta a una petición, lee el archivo de configuración de mapa (Map File) que describe las capas y otros componentes del mapa, lo dibuja y salva. A continuación, lee una plantilla HTML identificada en el mapfile que contiene cadenas de sustitución propias de MapServer. Estas cadenas contienen, por ejemplo, la ruta al mapa creado, identifica las capas a dibujar o especifica el nivel de zoom y la dirección. MapServer sustituye los valores vigentes para estas cadenas y envía los datos al servidor web, que a su vez lo envía al navegador. Cuando el usuario modifica cualquiera de los elementos que conforman la página (modificación del zoom, activación de una capa, etc.) y pulsa el botón de enviar, MapServer recibe la petición a través del servidor web con los nuevos valores. El ciclo comienza de nuevo.

MapServer lleva a cabo automáticamente algunas tareas cuando genera un mapa. Etiqueta las entidades evitando la colisión de los textos. Da la posibilidad de utilizar fuentes TrueType o bitmapped. El tamaño de las etiquetas puede ser fijo o dependiente de la escala, dando también la opción para no imprimir en un rango de escalas. MapServer crea leyendas, escalas gráficas configurables y mapas de referencia.

Archivos .map

Son archivos de configuración de texto estructurado. Definen el área del mapa, especifican a MapServer dónde están los datos y dónde enviar las imágenes. También definen las capas, incluyendo el tipo de datos, proyección y simbología. De su correcta confección depende la estructura y visualización final del mapa.

PREPARACIÓN DEL SERVIDOR

Una de las premisas del proyecto ha sido la de implantar todo el sistema en un entorno “Open Source”. Además de ser código abierto, el software elegido para la implantación del sistema ofrece unas inmejorables virtudes en cuanto a calidad y rendimiento se refiere. Hay que tener en cuenta que tanto el kernel del sistema operativo como las librerías necesarias se compilan e instalan para de esta forma adaptar el software a la máquina donde va a ser ejecutado.

Instalación del sistema operativo

Para el sistema operativo se ha elegido un Linux, concretamente, de entre todas las distribuciones disponibles, nos hemos decantado por la Linux Debian 3.1.



<http://www.debian.org>

Con el objetivo de ahorrar el máximo de recursos hemos optado por instalar el sistema operativo en modo texto, sin entorno gráfico y sólo con las librerías necesarias para la ejecución del software, obviando todas aquellas que consideramos innecesarias que el sistema normalmente instala por defecto.

Para aprovechar al máximo la capacidad de multiproceso de los nuevos procesadores, hemos compilado el núcleo del sistema con la opción de multiprocesamiento simétrico SMP (Symmetric Multi-Processing). Esta opción por defecto no viene activada.

Obviamente, una vez instalado el sistema operativo, luego es necesario configurarlo. Básicamente nombre de máquina, usuarios y contraseñas, parámetros de la conexión a la red, etc.

Instalación de las librerías

Una vez tenemos el sistema operativo correctamente instalado y configurado, ahora es el turno de la instalación de las librerías necesarias para la ejecución del software.

1) Apache:

Lo primero que necesitamos instalar es el servidor web. Basándonos en la premisa de usar software libre, y que tenemos un Debian instalado, obviamente la mejor opción sería usar un Apache.

En concreto hemos usado la versión 2.0. Como ya hemos mencionado, nos descargamos los fuentes, compilamos el código e instalamos y configuramos el software.



<http://www.apache.org>

2) PostgreSQL:

PostgreSQL es un potente sistema de base de datos relacional de código abierto, con más de 15 años de desarrollo y que puede ser ejecutada en la mayoría de los sistemas operativos (Linux, Unix, Solaris, MacOS X, Windows).



<http://www.postgresql.org>

3) Postgis:

Postgis añade soporte al servidor de base de datos PostgreSQL para almacenar información geográfica. De esta forma, se puede usar este servidor de base de datos libre como un “backend” para sistemas de información geográficos, como SDE de ESRI o Oracle Spatial.



<http://postgis.refractions.net/>

4) PHP:

PHP es un lenguaje de script de propósito general, ampliamente usado, especialmente para aplicaciones web. Debe ser compilado, instalado y configurado para que sea ejecutado como un cgi. Además habrá que instalar las librerías para acceder a la base de datos PostgreSQL.



<http://www.php.net/>

5) Mapserver:

Mapserver es un entorno de desarrollo de código abierto que permite el desarrollo de páginas web con la funcionalidad de poder consultar y mostrar información geográfica. Es recomendable instalar las librerías GDAL/OGR para poder acceder a información raster y vectoriales en una amplia gama de formatos. Asimismo será necesario instalar y configurar correctamente las librerías phpMapscript, las cuales permitirán usar el Mapserver con el lenguaje de programación anteriormente descrito PHP.



<http://mapserver.gis.umn.edu/>

6) Ka-map:

Ka-map es un proyecto de código abierto que proporciona una API javascript que permite desarrollar aplicaciones web que aprovechando las funcionalidades de los navegadores web modernos permiten interactuar con los mapas de forma interactiva.



<http://ka-map.maptools.org/>

AGRADECIMIENTOS

Ilustrísimo Ayuntamiento de Mogán.

Bermejo Domínguez, Juan Antonio (2008): Geoservicios Cabildo Insular de La Palma: www.siglapalma.es. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial (Jornadas Técnicas)*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 857-866. ISBN: 978-84-96971-53-0.

GEOSERVICIOS CABILDO INSULAR DE LA PALMA: **WWW.SIGLAPALMA.ES**

Bermejo Domínguez, Juan Antonio

Cabildo Insular de La Palma, Avda. Marítima 34 S/C de La Palma, juan.bermejo@cablapalma.es

RESUMEN

El Sistema de Información Geográfico Corporativo (SIG) así como la implantación de la Infraestructura de Datos Espaciales Insular (IDE) se plantea como un proyecto de futuro, de progresión constante y orientada no sólo a la publicación de información siguiendo la Directiva INSPIRE, sino también a la explotación de la propia IDE mediante herramientas SIG avanzadas.

La IDE Insular de La Palma pretende dar servicio tanto al propio Cabildo como a la administración local y al ciudadano. El proyecto se aborda con tecnología libre (Open Source), orientando la inversión a los servicios y prescindiendo, en la medida de lo posible, del consumo de licencias. Durante el proceso inicial de implantación, hemos instalado gvSIG como software libre de gestión y análisis de la información geográfica en todas nuestras dependencias que hacen uso de información geográfica (40 PC aprox.). Paralelamente hemos suscrito convenios de colaboración con otras entidades locales y participamos activamente en la difusión de esta tecnología mediante la organización de Jornadas, cursos y seminarios.

Desde El Cabildo Insular de La Palma y conscientes de la necesidad de acceso a la información territorial por parte del ciudadano, administraciones y empresas, hemos creado diversos Geoservicios de acceso libre y gratuito. Este acceso a la información Territorial se realiza a través de WWW.SIGLAPALMA.ES con servicios orientados a diversos perfiles, según las necesidades de cada usuario como: El Geoportal, Servicios WMS, La Palma 3D y las descargas.

ABSTRACT

The GIS and the develop of the SDI is a future project, which guides the operation of the infrastructure itself through advanced tools and following the European Directive INSPIRE

IDE of La Palma is designed to give service to the Cabildo Insular, to the local government and the citizen. The project is being developed with open source technology. We have installed gvSIG as software management. We have signed cooperation agreements with other local government and actively participate in training in this technology by organizing workshops, seminars and courses.

The Cabildo Insular de La Palma has created a diferent Geoservices with free and open access. For more information: WWW.SIGLAPALMA.ES

INTRODUCCIÓN

En los últimos años hemos asistido a un importante proceso de informatización de las Corporaciones Locales de modo que actualmente desde las entidades de mayor tamaño hasta los Ayuntamientos de pequeños municipios disponen de algún recurso de proceso automático de información. La Informática y las Comunicaciones han representado el instrumento técnico más adecuado para implantar los procesos de reforma y modernización de la administración, acercándola al mismo tiempo a los ciudadanos. Las tecnologías de la información aportan a las Corporaciones, medianas y grandes, medios técnicos para hacer realidad la igualdad de oportunidades, la capacidad de decisión y la participación ciudadana a partir de la difusión por todos los medios actualmente disponibles de los servicios, recursos y programas que la Administración ofrece a todos los ciudadanos.

Para la Administración que actúa sobre el territorio, el conocimiento del mismo es la pieza básica de su Sistema de Información. Diferentes elementos han ayudado a la capacidad de acceso a la informática del territorio, aunque no es el más importante, la disminución de costes de los equipos informáticos y el incremento de potencia de los llamados ordenadores personales es un primer punto a destacar.

En el momento actual la información geográfica tiene consolidado el carácter de infraestructura básica de desarrollo, que posibilita una mejora en el proceso de toma de decisiones de cualquier actuación sobre el territorio, ya sea de las Administraciones Públicas o de los organismos privados. Las dificultades que se presentan en el uso de esta información geográfica se basan en la escasez, dificultad de localización, desconocimiento de sus características, calidad, elevado precio y sobre todo en los obstáculos para su integración en otros sistemas de información diferente del organismo que los genera.

En este punto nos encontramos con tres pilares básicos: Tecnología, Datos y Formación. En el apartado tecnológico el hardware ha disminuido considerablemente de precio en los últimos años, los datos son cada vez más accesibles con iniciativas como las IDE y la formación están cada vez más al alcance de todos ¿y que pasa con el software?. Dentro de la administración nos vemos abocados a hacer un uso óptimo de los recursos financieros donde el software libre cubre gran parte de nuestras necesidades en varios sentidos (ofimática, servidores, navegadores, SIG, etc) pero sin vernos obligados a ser restrictivos con otras tecnologías que aunque causan dependencia son capaces de solucionar problemas concretos. Lo que hace años era una utopía hoy se ha convertido en programas estables, que le permiten a la administración la no dependencia tecnológica y el compartir el conocimiento, a la par de hacerse participe de proyectos comunes de la sociedad que redundan en el bien social, en definitiva uno de los fines de la Administración Pública.

En esta línea hemos abordado los conceptos fundamentales de los Sistemas Información Geográfica (SIG) e Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), y se estudian las formas de implantación con tecnologías libres en el Cabildo Insular de La Palma.

OBJETO

El Cabildo Insular, como organización administradora del territorio y gestora de grandes volúmenes de información insular, la mayoría de ella georeferenciable, se ha visto tentada en los últimos años por proyectos de implantación SIG como solución integradora de toda su gestión territorial. La necesidad de conocer a fondo la isla es consecuencia de la progresiva superación de los procesos de la información y de la realización de una gestión más eficiente, a la que se suma la voluntad de aumentar el rendimiento de los datos territoriales de procedencia diversa.

La implantación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en el ámbito corporativo se planteó como un objetivo a medio / largo plazo, a consolidar gradualmente y sin que se produzcan rupturas de organización, pero con frutos plausibles a corto plazo. Se trataba de poder evolucionar el modelo del Cabildo hacia un SIG corporativo común, con el fin de proporcionar un servicio eficaz, riguroso y de criterio a toda la corporación, y posteriormente ofertar los datos al exterior (ciudadano, empresas, otros organismos) por internet mediante estándares en una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE).

Este sistema propuesto debe ser:

1. Integrado, ya que tiene que integrar los datos de los diferentes suministradores (internos y externos). Impulsa la integración de las informaciones dentro de cada una de las distintas Áreas del Cabildo y ofrece una información territorial integrada
2. Distribuido, de manera que facilite el trabajo específico de cada una de las áreas. La homogeneización de los procedimientos y nomenclatura del sistema, no solo no requiere la centralización de la información, sino que facilita su descentralización.
3. Corporativo, ya que las características anteriores (integrador y distribuido) lo configuran como un sistema del conjunto del Cabildo, en el que cada área tiene su participación, mayor o menor.

4. Dinámico, abierto a los requerimientos evolutivos y crecientes de los demandantes de información, las nuevas ofertas de los productores y las posibilidades que ofrezca la evolución tecnológica

5. Progresivo, definido para ir incrementando el número y extensión de sus componentes, las relaciones entre ellos, etc.

6. De calidad: los flujos de entrada que hayan de integrar el sistema han de satisfacer unos estándares de calidad, ya que las deficiencias en uno de ellos repercutirían peligrosamente sobre el conjunto. Por otra parte, la vinculación de la información al territorio constituye un elemento cualificado de validación de dicha información.

7. Con referencias geográficas precisas y homogéneas: para que la integración de la información referida al territorio sea correcta, es imprescindible que el soporte geográfico aporte definiciones precisas y únicas.

8. Histórico, ya que ha de mantener las series temporales de información relativa al territorio, pero también asegurar la función de custodia de los datos que cabe esperar de una eficiente administración.

9. Actualizado, Referente para la gestión, en la medida que debe aportar la información geográfica que precisen los diferentes gestores, con el mantenimiento más adecuado y capacidad para integrar las demandas de actualización que la gestión ponga de manifiesto



Figura 1. Logo del SIG del Cabildo Insular de La Palma.

LOS DATOS

La construcción e implantación de un SIG en cualquier organización es una tarea siempre gradual, compleja, laboriosa y continua. Los análisis y estudios previos a la implantación de un SIG son similares a los que se deben realizar para establecer cualquier otro sistema de información. Pero en los SIG, además, hay que considerar las especiales características de los datos que utiliza, su calidad y sus procesos de actualización. Es evidente que los datos son el principal activo de cualquier sistema de información. Por ello el éxito y la eficacia de un SIG se miden por el tipo, la calidad y vigencia de los datos con los que opera.

Todo esto adquiere un mayor grado de dificultad y responsabilidad cuando esos datos se quieren compartir en la red de redes, es en este momento cuando se implanta la IDE como infraestructura que posibilita el compartir los datos en la WEB siguiendo los estándares de la Open Geospatial Consortium (OGC) y de la iniciativa Europea INSPIRE. Por ello se entiende que cada ente creador / emisor de datos se responsabilizara por la calidad e interoperabilidad de los datos. Por consiguiente, en la construcción de un SIG, en lo concerniente a los datos, hay que considerar:

Los datos internos

Son los propios y habituales en la administración local con los que realiza su gestión municipal. Pueden ser tanto sistemas de información gráficos como alfanuméricos. La información alfanumérica suele estar normalmente gestionada con sistemas informáticos específicos, y los datos son susceptibles de poder ser geocodificados o asociados al territorio. La información interna del Cabildo proviene fundamentalmente de:

Tabla 1. Datos Internos

ÁREA, SERVICIO U ORGANISMO	DATOS TEMÁTICOS
SERVICIO DE POLÍTICA TERRITORIAL	PLAN INSULAR DE ORDENACIÓN (EN DESARROLLO) PLAN TERRITORIAL DE ORDENACIÓN TURÍSTICA MODELOS
SERVICIO DE MEDIO AMBIENTE	ÁREAS PROTEGIDAS <ul style="list-style-type: none">RESERVA MARINAMONTES DE UTILIDAD PÚBLICA ÁREAS RECREATIVAS BIOTOPO CLIMA GEOMORFOLOGÍA HIDROLOGÍA INCENDIOS RIESGOS SENDEROS UNIDADES AMBIENTALES
CULTURAL (PATRIMONIO)	ARQUEOLOGÍA
SERVICIO DE INFRAESTRUCTURAS	ENCUESTA DE INFRAESTRUCTURA DE EQUIPAMIENTO LOCAL (PENDIENTE) VIAI
SECRETARÍA GENERAL (INVENTARIO Y ARCHIVO)	INVENTARIO DE BIENES DEL CABILDO
CONSEJO INSULAR DE AGUAS	PLAN HIDROLÓGICO INSULAR

Estos datos contendrán sus correspondientes METADATOS configurados según las recomendaciones del Núcleo Español de Metadatos (NEM). Estos datos pueden ser consultados libremente en los servicios Web Map Service (WMS) de nuestra IDE: www.siglapalma.es. En la fase actual del proyecto nos encontramos desarrollando el Catálogo, el Nomenclátor y el servicios Web Coverage Service (WCS). Durante este año implementaremos los Metadatos y posiblemente servicios WFS y WPS.

Los datos externos

Son los contruidos y gestionados por otros organismos ajenos a nuestra corporación, pero que tienen incidencia en la gestión territorial. Como en el caso anterior, hay que evaluar la información que se puede obtener, tanto gráfica como alfanumérica, el tipo, precisión, calidad, vigencia de la misma y el sistema de georreferenciación que se ha utilizado para la construcción de las cartografías que representen cualquier tipo de información del territorio municipal. La información externa proviene fundamentalmente de:

Tabla 2. Datos Externos

ORGANISMO Modo de acceso	DATOS TEMÁTICOS
CARTOGRÁFICA DE CANARIAS (GRAFCAN) CONVENIO CESION DE DATOS 2001-2006	CARTOGRAFIA DIGITAL <ul style="list-style-type: none"> • 1:1.000 (AÑO 2002) • 1:5.000 (AÑO 1998, AÑO 2002) ORTOFOTO <ul style="list-style-type: none"> • 1:2.000 • 1:5.000 (AÑO 1998, AÑO 2002) • 1:100.000 (AÑO 1998) CALLEJERO DIGITAL (PORTALES Y VIAL) BATIMETRÍA MAPA GEOLÓGICO 1:25.000 (AÑO 2001) MAPA VEGETACION 1:25.000 (AÑO 1998) MAPA OCUPACION DEL SUELO 1:25.000 (AÑO 1998, AÑO 2002) ISLAS
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE SOLICITUD DE DATOS	ÁREAS PROTEGIDAS <ul style="list-style-type: none"> • ESPACIOS NATURALES • RED NATURA 2000 • HABITATS ESPECIES CATALOGADAS (PENDIENTE)
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE SOLICITUD DE DATOS	BATIMETRÍA (PENDIENTE) EOCARTOGRAFÍA (PENDIENTE)
AYUNTAMIENTOS DE LA PALMA SOLICITUD DE DATOS	PLANES GENERALES DE ORDENACIÓN
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y HACIENDA WMS	CATASTRO <ul style="list-style-type: none"> • RUSTICA • URBANA
INSTITUTO DE ESTADÍSTICA DE CANARIAS ISTAC SOLICITUD DE DATOS	DEMOGRAFÍA
ADER LA PALMA SOLICITUD DE DATOS	GUIA DE RECURSOS

Estos datos quedan a disposición para el uso interno del Cabildo. Su calidad, actualización y demás le corresponde al Organismo que los ha generado

EL SOFTWARE

En esta Administración, al igual que en muchas otras, nos encontramos inmersos en un proceso de cambio y adaptación hacia programas de código abierto en la medida de nuestras posibilidades. En el Plan de Acción e-Europa de 2000 se establece "El fomento de la utilización de programas de software libre y de fuentes abiertas en el sector público". En nuestro caso este proceso ha sido relativamente fácil en el SIG y la IDE, ya que se partía prácticamente de cero, pero no ha sido así en otras dependencias de esta institución. Algunos técnicos de este organismo hemos conseguido que inicialmente en todos los pliegos que conlleven la adquisición o desarrollo de programas se puntúe más el hecho de que hayan sido desarrollados en código abierto. Actualmente los

programas open source instalados en nuestras dependencias se centran sobre todo en los servidores web, el SIG, la IDE , navegadores y algunas instalaciones de Open Office. Destacamos :

- Servidor de Mapas con Sistema operativo: Ubuntu Server.
- Cliente de mapas: Para el desarrollo del cliente web se ha utilizado la librería Mapbuilder. Esta librería permite desarrollar clientes de mapas que interactúen con servidores de mapas que cumplan los protocolos de OGC (WMS, WFS, WMC, etc.), siendo compatible con los navegadores modernos (Firefox 1.0, Internet Explorer 6.0, Mozilla 1.3, Navigator 6).
- Servidor de mapas: Para la generación de las imágenes de los mapas que se visualizan en el cliente de mapas, siguiendo el protocolo WMS, se ha utilizado el servidor de mapas MapServer 4.8.X.
- Base de datos: PostgreSQL 8.1.5 +PostGIS (extensión para almacenar datos espaciales).
- SDK Java 1.5
- Servidor de aplicaciones: Tomcat 5.5.

Actualmente el Cabildo dispone de unas 40 instalaciones de gvSIG que forman el “bloque” central de programas para la explotación de datos del SIG y la IDE. Paralelamente disponemos de algunas licencias propietarias para aquellos trabajos imposibles de abordar actualmente con garantías desde el código abierto, como es en el caso de: CAD, Análisis avanzado SIG, 3D y globos virtuales. El desarrollo de gvSIG previsto permitirá en un futuro prescindir de parte de estas licencias.

Hemos apostado por gvSIG fundamentalmente por los siguientes motivos:

- Código abierto. Licencia GNU/GPL.
- Estabilidad.
- Escalable en función de las necesidades del usuario.
- Personalización.
- Lectura y edición de diversos formatos abierto y propietarios.
- Uso intuitivo para usuarios con cierta experiencia en SIG.
- Bien adaptado a los estándares OGC.
- Empresas asociadas con experiencia.
- Al estar desarrollado en Java y tener acceso a las fuentes permite el desarrollo de empresas informáticas locales.
- Desarrollo creciente.
- Foro de usuarios considerable.
- En Español.
- Participativo.



Figura 2. Personalización de gvSIG a la imagen corporativa.

En definitiva, un proyecto en crecimiento, participativo, y que comparte el conocimiento.

En nuestro afán de difundir la información territorial cumple con creces al poder ofertarle al ciudadano, empresas y organismos soluciones viables y estables para la explotación y tratamiento de nuestros datos y los datos externos.

USUARIOS

Uno de los principales aspectos que no debemos perder de vista es preguntarnos ¿hacia qué tipo de usuarios potenciales esta dirigido el servicio?

La idea fundamental es potenciar la interoperabilidad entre los distintos software, y brindar herramientas gratuitas a los usuarios que permitan sacar el máximo partido de los datos disponibles, en el caso de que carezcan de recursos o así lo deseen, pero sin olvidar que existen usuarios básicos que igualmente necesitan acceder a la información. Para esto se ha seguido la filosofía de INSPIRE y se han configurado tres niveles de usuario:

Usuarios Nivel 1

Usuario con conocimientos limitados que accede a la información cartográfica a través de internet:

- Mediante el GEOPORTAL del Cabildo (desarrollado con Mapbuilder)
- Mediante la Visores 3D



Figura 3. Geoportal www.mapasdelapalma.es.

Usuarios Nivel 2

Usuario avanzado que accede a la información mediante los distintos software SIG disponibles. Tiene capacidad de edición según control de acceso. Puede acceder mediante:

- gvSIG
- Grass
- Udig
- Otros programas de licencia privativa (ArcGIS, AutoCAD MAP, etc)

DIFUSIÓN Y PARTICIPACIÓN

Los servicios desarrollados, si no se difunden y se hace partícipe al ciudadano y a los colectivos, no sirven de nada. En esta línea el Cabildo Insular puso en marcha las siguientes iniciativas:

- Organización de las I JORNADAS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y ADMINISTRACIÓN PÚBLICA “La Información Territorial como Infraestructura de Desarrollo” Santa Cruz de La Palma, 26 y 27 de Abril de 2007, donde entre otros temas se habló en profundidad sobre las IDE en España, y se expusieron diversas experiencias Nacionales, Regionales y Locales. (www.siglapalma.es)
- Convenio con la Asociación de Desarrollo Rural de la Isla de La Palma (ADER La Palma) para la difusión y promoción de la IDE Insular.

- Alta en la Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE) con el fin de hacernos partícipes y miembros activos de los Grupos de Trabajo
- Participación en las IV Jornadas de la IDE de España, Santiago de Compostela 17-19 de octubre de 2007
- Organización de diversos cursos de gvSIG
- Difusión en la web corporativa de información, objetivos, funciones, servicios, descargas y enlaces de interés (www.cabildodelapalma.es)
- Organización de las II JORNADAS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y ADMINISTRACIÓN PÚBLICA “La Información Territorial en La Palma de Tu mano” SIGLAPALMA2008 Santa Cruz de La Palma, 20 de Febrero de 2008, enfocadas fundamentalmente a la difusión de los geoservicios a nivel insular
- Convenio con los Ayuntamientos de la Isla
- Portal de difusión y conocimiento www.siglapalma.es

The screenshot displays the website for the Cabildo Insular de La Palma's Geoservices. The header features the logo of the Cabildo Insular de La Palma and the text 'GEOSERVICIOS Cabildo Insular de La Palma'. Below the header is a navigation bar with links for 'INICIO', 'NOTICIAS', 'EVENTOS', 'ENLACES', 'SOPORTE', and 'CONTACTAR', along with a search box. A main menu on the left lists various sections like 'Inicio', 'Presentación', 'Objetivos', 'Geoservicios', 'Descargas', 'Legislación Cartográfica', 'Formación', 'Empleo', '¿Qué es una IDE?', 'Estándares y normalización', 'Noticias', 'Enlaces', 'Búsqueda', 'Biblioteca', and 'Entidades Colaboradoras'. The main content area includes a 'GEOPORTAL SIG' tile, a 'MUNDO IDE Infraestructura de Datos Espaciales' tile, a 'La Palma 3D' tile, a 'SERVICIO SMS mantente informado' tile, and 'acceda a nuestros FOROS' tile. The central content area features 'ÚLTIMAS NOTICIAS' and 'POPULAR' sections, an 'Eventos' section for 'JORNADAS SIGLAPALMA 2008', and a 'NOTICIAS' section with a sub-section for 'II Jornadas SIG La Palma' and 'Destacamos'.

Figura 4. Portal de difusión y conocimiento www.siglapalma.es

CONCLUSIONES

El sistema ha de satisfacer los objetivos propios de todo sistema de información asegurando la disponibilidad de la información en el momento y en las condiciones que cada uno de los distintos usuarios precise, así como la utilización óptima de la información acumulada; debe garantizar que el sistema no solo es capaz de responder a las necesidades actuales, sino que está diseñado para satisfacer las futuras, actualizando y manteniendo viva la información; Igualmente debe promover el intercambio de información, experiencias y procedimientos entre las unidades componentes del sistema y entre estas y los usuarios; y aumentar la transparencia informativa y la calidad de los servicios.

Finalmente el desarrollo en el marco del Software libre (OpenSource), siguiendo los estándares internacionales (Open Geospatial Consortium), respetando la interoperabilidad, por tanto siguiendo la iniciativa Europea INSPIRE, es garantía de futuro, ya que optimizamos en la inversión de nuestros limitados presupuestos, optamos por una libertad tecnológica cada vez más significativa en España, y nos adaptamos a la recomendaciones y normativas vigentes.

REFERENCIAS

IDE del Cabildo Insular de La Palma: <http://www.mapasdelapalma.es/>

Portal de INSPIRE: <http://www.ec-gis.org/inspire/>

Open Geospatial Consortium: <http://www.opengeospatial.org/>

Licencia GNU / GPL: <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>

Portal de IDEE: <http://www.idee.es/>

MapServer: <http://mapserver.gis.umn.edu/>

Geonetwork: <http://sourceforge.net/projects/geonetwork>

Proyecto gvSIG: <http://www.gvsig.gva.es/>

MapBuilder: <http://communitymapbuilder.org/>

Bermejo, Juan Antonio y Anguix, Álvaro (2008): Infraestructura de datos espaciales del Cabildo Insular de La Palma: fases II y III. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial (Jornadas Técnicas)*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 867-875. ISBN: 978-84-96971-53-0.

INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES DEL CABILDO INSULAR DE LA PALMA: FASES II & III

Bermejo, Juan Antonio¹ y Anguix, Álvaro²

(1) Cabildo Insular de La Palma, Avda. Marítima 34 S/C de La Palma, juan.bermejo@cablapalma.es

(2) IVER Tecnologías de la Información S.A., Valencia, alvaro.anguix@iver.es.

RESUMEN

En el momento actual la información geográfica tiene consolidado el carácter de infraestructura básica de desarrollo, que posibilita una mejora en el proceso de toma de decisiones. Las dificultades que se presentan en el uso de esta información geográfica se basan en la escasez, dificultad de localización, desconocimiento de sus características, calidad, elevado precio y sobre todo en los obstáculos para su integración en otros sistemas de información. En paralelo las telecomunicaciones e Internet han avanzado a pasos agigantados facilitando la interconexión en la red de redes. La Comisión Europea, consciente de esto y con el objetivo de eliminar las barreras de integración de la información geográfica entre los países miembros, aprobó en 2007 la Directiva Inspire sobre la creación de la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) de Europa. En esta línea el Cabildo de La Palma implantó en abril de 2007 la primera IDE de Canarias, con el desarrollo la I Fase con algunos servicios WMS y el Geoportal. Este año 2008 se han llevado a cabo la II y III Fase de esta implantación progresiva, que ha consistido en el caso de la II Fase, en el desarrollo del servicio de Nomenclator, Catálogo, WCS, motores de búsqueda y Gestor de contenido del Geoportal; y en el caso de la III Fase, en servicios orientados a la consulta y gestión del Plan Insular de Ordenación, mejoras en los desarrollos anteriores y a potenciar la difusión de los servicios y la comunicación con el ciudadano (IDE 2.0)

ABSTRACT

At present the geographic information is defined as a basic infrastructure development in a local government, which enables an improvement in decision-making process. The difficulties are based on data, difficulty in locating, ignorance of its features, quality, high price and above all obstacles to their integration into other information systems. The European Commission in order to eliminate barriers to integration of geographic information among member countries, adopted in 2007 Inspire Directive on the creation of Spatial Data Infrastructure (SDI) in Europe. The Cabildo de La Palma in April 2007 introduced the first IDE of Canary Island, developed some services WMS and the Webgis. This year has been developing the Nomenclator, Catalogue, WCS, search engines and content manager of the Webgis, services-oriented consulting and management Insular Plan, improvements in previous developments and enhance the dissemination of services and communication with the citizen (SDI 2.0)

INTRODUCCIÓN

Una IDE (Infraestructura de Datos Espaciales) es un sistema informático integrado por un conjunto de recursos (catálogos, servidores, programas, datos, aplicaciones, páginas Web,...) dedicados a gestionar la Información Geográfica (mapas, ortofotos, imágenes de satélite, topónimos,...), que cumplen una serie de condiciones, normas, especificaciones, protocolos, interfaces, etc. que permiten que un usuario pueda utilizarlos y combinarlos según sus necesidades. El establecimiento de una IDE, se basa en dos ideas fundamentales:

- Poder manejar de manera fácil, cómoda y eficaz de los datos geográficos existentes.
- La oportunidad de reutilizar la Información Geográfica generada en un proyecto para otras finalidades diferentes, dado el alto coste de su producción.

Para el establecimiento de una IDE se incluyen unos principios comunes:

- **Marco Institucional:** el establecimiento de acuerdos entre los productores de información geográfica, especialmente entre los productores oficiales, para generar y mantener los datos espaciales fundamentales («Framework data») para la mayoría de las aplicaciones basadas en sistemas de información geográfica.
- **Estándares:** el establecimiento de normas a las que deberá ajustarse la información geográfica, los intercambios de esta y la interoperación de los sistemas.
- **Tecnología:** el establecimiento de la red y mecanismos informáticos que permitan buscar, consultar, encontrar, acceder, suministrar y usar los datos espaciales o geográficos.
- **Política de datos:** El establecimiento de las políticas, alianzas y acuerdos de colaboración necesarios para aumentar la disponibilidad de datos espaciales y compartir los desarrollos tecnológicos.

El Cabildo Insular de La Palma está impulsando la implantación de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), que sirva como base fundamental para la inclusión de la gestión territorial en la administración, tanto insular como municipal, así como para unificar la información geoespacial disponible. El Cabildo Insular de La Palma se plantea continuar la implantación de la IDE Insular, pionera en las Islas Canarias, añadiendo diversos servicios, así como nuevas herramientas que aporten mayor funcionalidad al Geoportal.

La I Fase, desarrollada entre el 2006 y el 2007 por la empresa IVER Tecnologías de la Información, tenía como fin ir implementando una IDE Insular capaz de dar unos servicios óptimos. En esta fase se desarrollaron:

- Análisis Funcional.
- Diseño técnico.
- Construcción del Sistema. Desarrollo.
- Publicación de los datos geográficos como servicios WMS.
- Desarrollo del Geoportal
- Visualizador (cliente de servicios WMS)
- Contratación del servicio de Hosting
- Definición y creación de manual de usuario.

Tras la realización de los trabajos se presenta en Abril de 2007 la primera IDE de Canarias. En este trabajo se muestran los desarrollos llevados a cabo en la II y III Fase de implantación de la IDE del Cabildo Insular de La Palma.

FASE II (2007-2008)

Servicio de Nomenclátor

Se ha implementado un Servicio de Nomenclátor que ofrece la posibilidad de localizar un fenómeno geográfico asociado a un lugar de un determinado nombre. Dicho servicio admite como entrada el nombre de un fenómeno, con las posibilidades habituales de nombre exacto, comenzando por,... y devolverá la localización, mediante unas coordenadas, del fenómeno en cuestión. Adicionalmente, la consulta por nombre permite fijar otros criterios como la extensión espacial en que se desea buscar o el tipo de fenómeno dentro de una lista disponible (río, montaña, población,...). Esta herramienta permitirá la búsqueda de topónimos en servicios externos (por ejemplo, el nomenclátor nacional del IGN). El servicio de Nomenclátor se ajusta a las especificaciones del Open Geospatial Consortium que establecen cómo debe ser un Servicio de Nomenclátor estándar e interoperable.

El desarrollo se ha hecho con Deegree , proyecto de software libre orientado a las Infraestructuras de Datos Espaciales, y siguiendo los estándares OGC e ISO/TC 211. Deegree tiene licencia GNU/GPL. El servidor de topónimos esta basado en un servicio WFS-G y está disponible en la URL: <http://213.172.37.189:8080/deegree-wfsg/wfsg/> En el Geoportal www.mapasdelapalma.es se ha activado una pestaña de búsqueda por topónimo para facilitar al usuario la búsqueda.

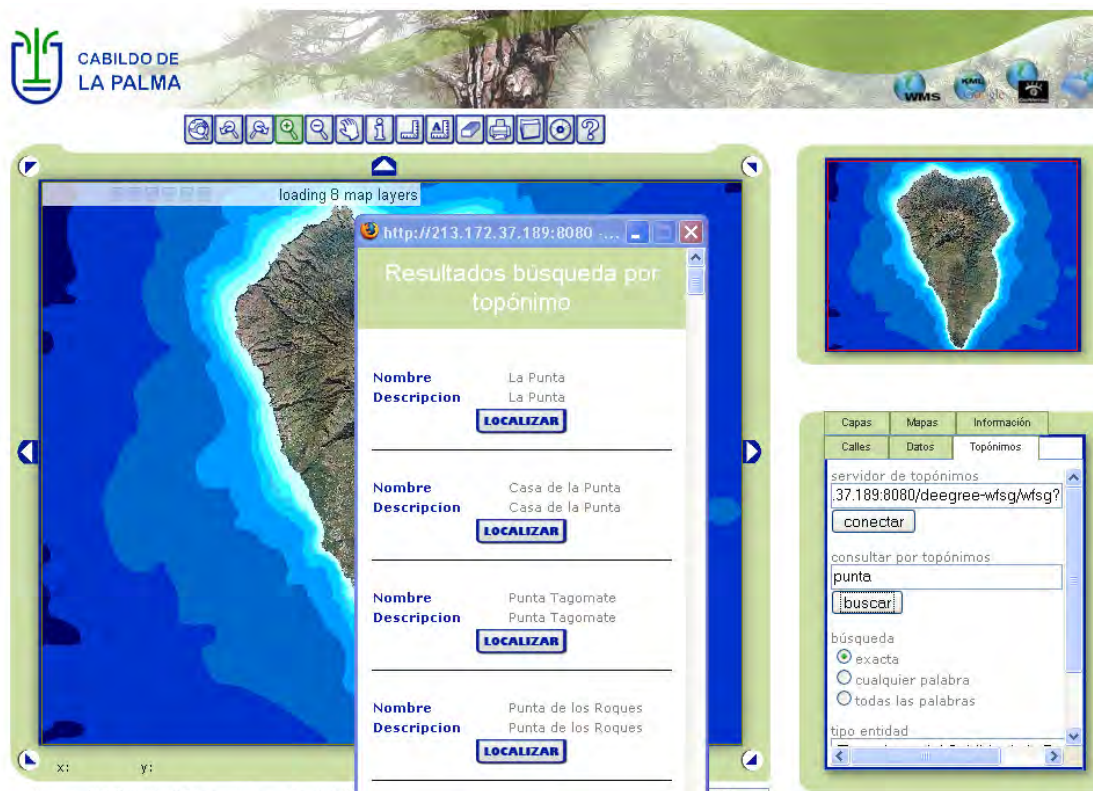


Figura 1. Nomenclátor en www.mapasdelapalma.es

Servicio de catálogo

Se implementó un Servicio de Catálogo que permite la publicación y búsqueda de información que describe datos (metadatos), servicios, aplicaciones y en general todo tipo de recursos. Los servicios de catálogo son necesarios para proporcionar capacidades de búsqueda e invocación sobre los recursos registrados dentro de una IDE.

El servicio se desarrolló de acuerdo a las especificaciones del Open Geospatial Consortium que establecen cómo debe ser un Servicio de Catálogo estándar e interoperable y conforme a la norma ISO 19115 de Metadatos. Se utilizó como software Geonetwork, desarrollado por la FAO. Se ejecuta en un contenedor de Servlets/JSP y dispone de un interfaz de usuario a través de navegador Web para configuración, es decir, para añadirle metadatos desde ficheros XML. Este servicio permite el descubrimiento, acceso y uso de la información geoespacial que proporcione la IDE. Básicamente consiste en un SGBD que gestiona el Catálogo de Metadatos (conjunto ordenado y coherente de metadatos geoespaciales) para dar respuesta a peticiones on-line, bajo ciertos criterios especificados en la consulta, permitiendo al usuario la búsqueda y acceso a los contenidos. El requisito fundamental para el Servicio de Catálogo es la existencia de metadatos de la información geográfica que se pretende publicar. El Servicio de Catálogo dispone de un conjunto de tesauros, para facilitar la organización y recuperación de la información de manera consistente. Permite la exhibición de una jerarquía de conceptos e ideas actuando como clasificador o buscador de información, manteniendo la homogeneidad en la denominación de los atributos y características de las entidades geográficas y contribuyendo, por tanto, a preservar la calidad de los datos.

El Servicio de Catálogo se puede usar mediante búsquedas directas o mediante la exploración de una jerarquía de la información disponible. Permite que el usuario sea capaz de determinar si los datos se ajustan a sus necesidades, antes de proceder a su visualización o descarga. La calidad de este servicio es crucial para el éxito del proyecto, evitando la frustración del usuario si tras la transferencia de la información se da cuenta que no se trataba exactamente de lo que estaba buscando. El servidor de catálogo, junto con su contenido (metadatos estándares), está considerado como el componente clave para la puesta en marcha de un 'nodo IDE' conforme con las recomendaciones INSPIRE y con demás estándares internacionales relevantes. El servidor de catálogo, como su base de datos asociada, es el componente menos visible dentro de una IDE disponiendo de su funcionalidad aparente a través de la interfaz de usuarios creada encima del servidor.

El servidor de catálogo está basado en el protocolo CSW y está disponible en la URL: <http://213.172.37.189:8080/geonetwork/srv/es/csw>. En el Geoportal www.mapasdelapalma.es se ha activado una pestaña de búsqueda por catálogo para facilitar al usuario la búsqueda de datos.



Figura 2. Catálogo en www.mapasdelapalma.es

El servicio de catálogo de la IDE, dispone de un área de administración (geonetwork personalizado), desde la cual es posible modificar o crear nuevos metadatos. Esta área de administración autentifica a los usuarios, de modo que el usuario sólo podrá modificar los metadatos sobre los que tenga permisos

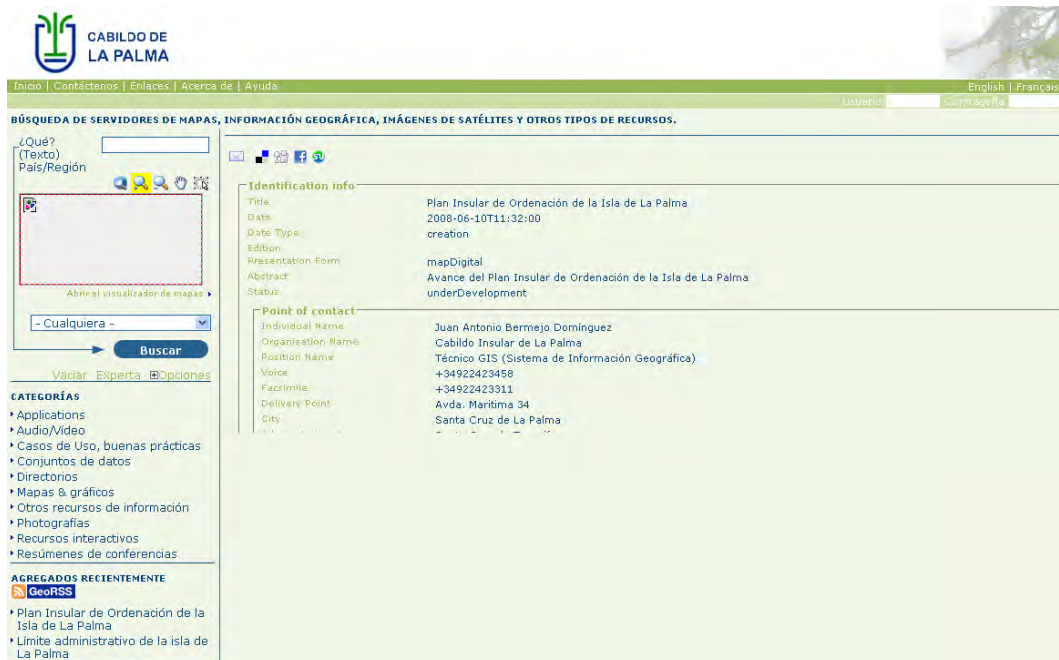


Figura 3. Gestor de Catálogo en Geonetwork “personalizado”

GeoNetwork opensource es un entorno de gestión de información espacial estandarizado y descentralizado, diseñado para permitir el acceso a bases de datos espaciales, cartografía y metadatos asociados, en diversos formatos, enfocado al intercambio de información espacial por medio de Internet. Es, en definitiva, un servicio de catálogo. Geonetwork tiene como objetivo facilitar el desarrollo de la comunidad de usuarios de datos espaciales, facilitando el acceso a los recursos cartográficos disponibles. Los mapas, incluyendo derivados como las imágenes satélite, son eficientes herramientas de comunicación, jugando un papel fundamental para un número de usuarios cada vez más amplio. El objetivo principal del software libre GeoNetwork es mejorar la accesibilidad a amplios y variados catálogos de datos, junto con la información asociada a estos, con diversa escalas y diversas fuentes, organizados y documentados siguiendo estándares. Por tanto, se trata de un software que apuesta por el intercambio de datos, por compartir conocimiento, evitando la duplicidad de información, y aumentando la cooperación y la coordinación de esfuerzos en hacer que los datos geográficos estén disponibles para todos.

Servicios WCS (Web Coverage Service)

El WCS, acrónimo de Web Coverage Service, es otro de los servicios del OGC. El objetivo del WCS es servir información en forma de cobertura. Una cobertura es un objeto o fenómeno (feature) que asocia posiciones a valores de atributo dentro de un espacio limitado; ejemplos de ello son las imágenes ráster, las imágenes satelitales o las matrices de elevación digital

Mientras que un WMS devuelve un mapa estático (imagen de los datos), es decir, una representación de los datos, un WCS retorna los datos con su semántica original, es decir, los propios datos. El Cabildo de La Palma cuenta, entre su información cartográfica, con varias capas de información que son servidas en WCS, de modo que su análisis sea más eficiente para usuarios técnicos. El objetivo de esta tarea es servir un servicio WCS con diversas capas: Ortofoto, infrarrojos,... de manera que pueda ser consultada por clientes avanzados como gvSIG. Este servicio no está orientado a usuarios de consulta del Geoportal, sino aquellos que quieran acceder a información con clientes avanzados, de cara a poder aplicar herramientas propias de un SIG para el análisis de los datos.

Servicios WCS y WMS disponibles actualmente están en www.siglapalma.es

Gestor de contenidos del geoportal y de los servicios WMS

Para el correcto funcionamiento de la IDE, y con el objetivo de conseguir la “no dependencia” tecnológica de terceros, el Cabildo Insular de La Palma contrato los trabajos de desarrollo de un Gestor de Contenidos para administrar el Geoportal y los servicios WMS perteneciente a la Infraestructura de Datos Espaciales del Cabildo de La Palma.

La aplicación de administración de la Infraestructura de Datos Espaciales del Cabildo de La Palma permite controlar y gestionar que cartografía se desea publicar en el visor de mapas www.mapasdelapalma.es. Para la publicación de los datos cartográficos se utiliza el servicio de publicación de mapas estándar WMS (Web Map Server) que permite la visualización y consulta de información geográfica en remoto, produciendo mapas de datos espaciales referidos de forma dinámica a partir de información geográfica.

Para la publicación de estos servicios se dispone en el servidor de un servidor de mapas (Mapserver) y de su cartografía.

La aplicación de administración de la Infraestructura de Datos Espaciales funciona en un navegador web (Internet Explorer 6.0+, Mozilla Firefox 1.0+). Para acceder a ella se ha de introducir una URL donde el usuario se ha de validar antes de poder acceder a la aplicación, introduciendo su nombre de usuario, la clave de acceso y el servicio de mapas que quiere gestionar

La aplicación dispone de un menú lateral situado en la parte izquierda que permite al usuario acceder a las distintas opciones, una parte central en la que se muestran los datos de la aplicación y en la que se muestra en la parte superior derecha el identificador del usuario que accede a la aplicación

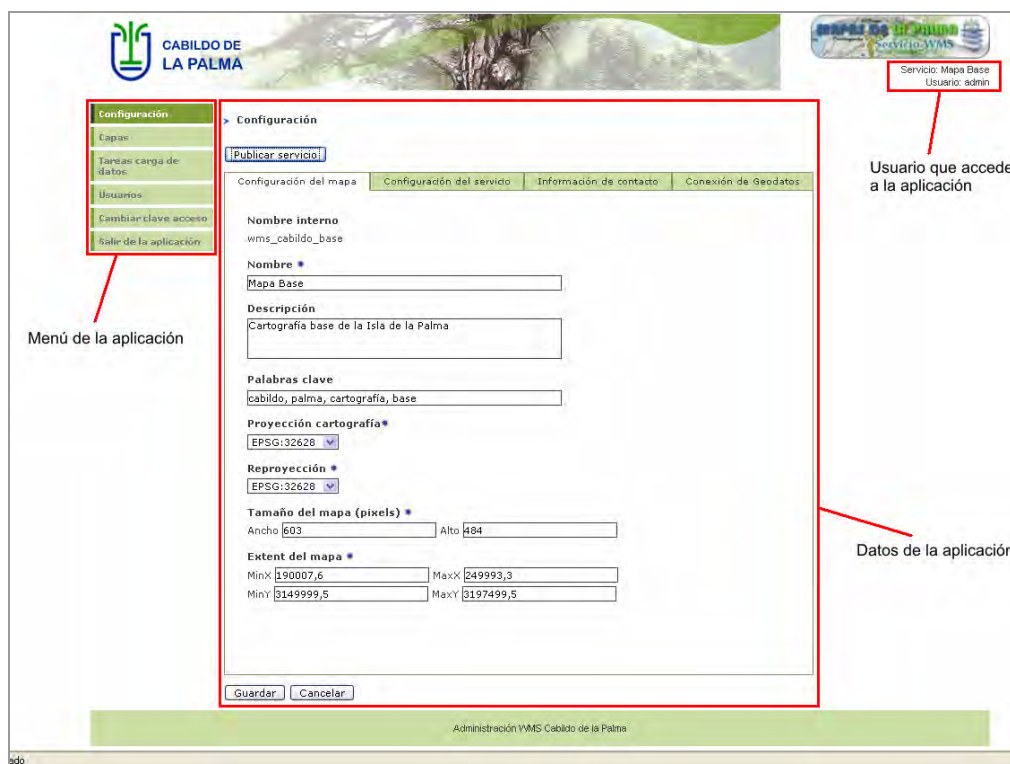


Figura 4. Gestor de contenidos

FASE III (2008-2009)

Mejoras en el geoportal

Los trabajos abordados en esta última fase, y que se están desarrollando en la actualidad van encaminados en parte a la mejora del Geoportal www.mapasdelapalma.es. Entre los trabajos a desarrollar están:

Interfaz plurilingüe

El Geoportal del Cabildo de La Palma tendrá capacidad plurilingüe, estando disponible tanto en su versión en castellano como en inglés. Desde el Geoportal se podrá seleccionar uno u otro idioma, mediante un icono de bandera, apareciendo la interfaz traducida al idioma correspondiente. Se incluye, además de la traducción de la interfaz, la traducción de la ayuda que aparece al seleccionar el icono. No se incluye la traducción de los diversos .PDF enlazados en el Geoportal.

Interfaz multiresolución

A la hora de acceder al Geoportal, existirá la posibilidad de seleccionar la resolución, de manera que la interfaz se adapte a la resolución seleccionada

Transparencias

Desde el Gestor de Capas del Geoportal existirá una herramienta que permita seleccionar la transparencia con la que se mostrará dicha capa.

Motores de búsqueda avanzados

Se requiere incorporar nuevas herramientas de búsqueda dentro del Geoportal, que le den un valor añadido a las búsquedas por Nomenclator y Catálogo. Mediante las herramientas de búsqueda el usuario podrá localizar una determinada ubicación. Estas búsquedas podrán ser por:

- Callejero (Nombre de vía y portal)
- Municipio.
- Datos catastrales (Polígono y parcela catastral. Referencia Catastral)
- Coordenadas X,Y UTM

Ficha de consulta urbanística

Se desarrollará una herramienta para que los usuarios del Geoportal del Cabildo de La Palma puedan seleccionar elementos y generar una ficha de ordenación territorial con información de los elementos seleccionados. Los datos de partida para generar estas fichas serán el Plan Insular de Ordenación de la Isla de La Palma, con una base de datos asociada que contendrá la información alfanumérica.

Herramienta de comunicación ciudadana (IDE 2.0)

Dentro del Geoportal del Cabildo de La Palma, se desarrollará una nueva herramienta que permita a los ciudadanos comunicarse con el administrador del Geoportal (IDE2.0). El ciudadano podrá insertar una incidencia en el mapa, y una descripción de la misma. Esta incidencia dispondrá de un formulario, definido en acuerdo con el Cabildo, en el que se indicarán una serie de datos, como los sugeridos a continuación:

- Tipo de incidencia (mediante un formulario desplegable).
- Una descripción de la incidencia.
- Fecha
- Nombre

- Teléfono
- Correo electrónico

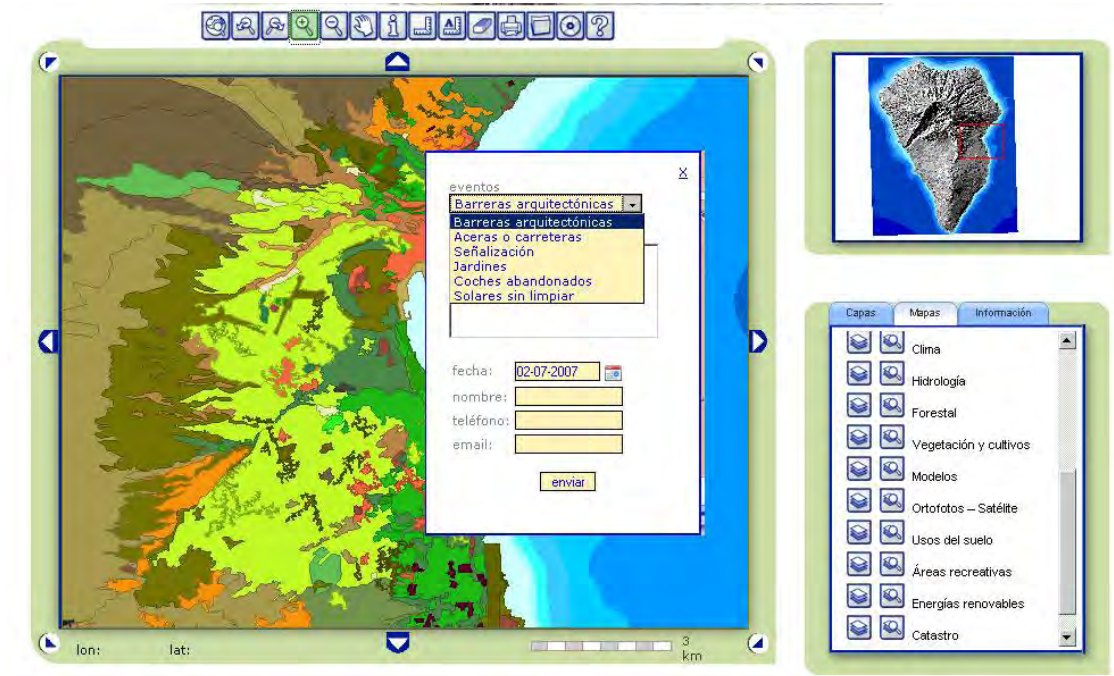


Figura 5. Herramienta de comunicación ciudadana

Aplicación educativa

Esta aplicación se enmarca dentro de la línea de Formación y difusión del Sistema de Información Geográfica del Cabildo Insular de La Palma. Tras abordar el desarrollo del SIG y la IDE en 3 Fase consecutivas, se desarrollan los trabajos para Introducir la cultura geográfica como un elemento complementario, cada vez más imprescindible. Para ello se desarrollará un CD/DVD interactivo para difundir ente los distintos usuarios externos del sistema, principalmente colegios e institutos, que ayuden a conocer mejor nuestro territorio y que inicien al usuario en las tecnologías de la información geográfica.

El CD/DVD consta de los siguientes contenidos:

- **Juegos.** Desde los cuáles y mediante el método de pregunta-respuesta, el alumno interactúa con la cartografía y demuestra sus conocimientos geográficos.
- **Mapas Temáticos.** Un conjunto de documentos “Vista” desde los cuales el alumno accede a cartografía temática de diverso tipo (de la Isla de La Palma, de las Islas Canarias, de España,...). La diversidad de los mapas temáticos se definirá con el Cabildo y en función de la cartografía disponible.
- **gvSIG:** permitirá acceder a gvSIG y a sus documentos de trabajo (Vistas, Tablas y Mapas). La personalización de gvSIG eliminará herramientas técnicas que dificulten el uso de la aplicación al alumno, quedando disponibles las siguientes:

CONCLUSIONES

La IDE del Cabildo Insular de La Palma evoluciona hacia la oferta de mejores servicios, diversificación de los mismos y herramientas de consulta y participación ciudadana, que le permitan una mejor comunicación con el ciudadano, la correcta explotación de los datos, y una fácil gestión de los mismos por parte del personal técnico. Finalmente el desarrollo en el marco del Software libre (OpenSource), siguiendo los estándares internacionales (Open Geospatial Consortium), respetando la interoperabilidad, por tanto siguiendo la iniciativa Europea INSPIRE, es garantía de futuro, ya que optimizamos en la inversión de nuestros limitados presupuestos, optamos por una libertad tecnológica cada vez más significativa en España, y nos adaptamos a la recomendaciones y normativas vigentes.

REFERENCIAS

IDE del Cabildo Insular de La Palma: <http://www.mapasdelapalma.es/>

Portal de INSPIRE: <http://www.ec-gis.org/inspire/>

Open Geospatial Consortium: <http://www.opengeospatial.org/>

Licencia GNU / GPL: <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>

Portal de IDEE: <http://www.idee.es/>

MapServer: <http://mapserver.gis.umn.edu/>

Geonetwork: <http://sourceforge.net/projects/geonetwork>

Proyecto gvSIG: <http://www.gvsig.gva.es/>

MapBuilder: <http://communitymapbuilder.org/>

Burriel Moreno, José Ángel; Ibáñez i Martí, Joan Josep y Masó Pau, Joan (2008): SIOSE en Cataluña: obtención a partir del mapa de cubiertas del suelo de Cataluña. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial (Jornadas Técnicas)*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 876-889. ISBN: 978-84-96971-53-0.

SIOSE EN CATALUÑA: OBTENCIÓN A PARTIR DEL MAPA DE CUBIERTAS DEL SUELO DE CATALUÑA

Burriel Moreno, José Ángel¹; Ibáñez i Martí, Joan Josep² y Masó Pau, Joan³

CREAF, Facultat de Ciències, Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès). j.angel@creaf.uab.cat, j.ibanez@creaf.uab.cat, Joan.Maso@uab.cat

RESUMEN

El CREAM produce la cartografía de Cataluña en el proyecto SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España). En el ámbito catalán, esta cartografía se obtiene a partir del Mapa de Cubiertas del Suelo de Cataluña (MCSC), en su tercera edición. Estas dos cartografías tienen características propias en cuanto a leyenda e imágenes de referencia. Sin embargo, sus mayores diferencias son de escala y área mínima cartografiada: para MCSC, la escala es 1:5000 y el área mínima de 500 m², mientras que para SIOSE la escala es 1:25000, y el área mínima varía entre 0,5 y 2 ha según las clases. A pesar de ello, SIOSE puede obtenerse a partir de MCSC, por procesos poco habituales e incluso innovadores, en la Cartografía Temática. Así, las divergencias temáticas se solventan porque la leyenda MCSC, de tipo jerarquizado, se ha confeccionado de manera que sea traducible a la leyenda SIOSE. En cuanto a la disparidad de escala y área mínima, se soluciona mediante procesos automáticos de generalización de la información gráfica del MCSC. Finalmente, las diferencias derivadas de las imágenes de referencia se salvan mediante ajuste del producto obtenido a partir de MCSC a la imagen de referencia de SIOSE.

Palabras Clave: SIOSE, usos y cubiertas del suelo, generalización de cartografía.

ABSTRACT

CREAF elaborates the cartography of Catalonia in the project SIOSE (Information System on Land Use in Spain). In the Catalan area, this cartography is obtained from the Land Cover Map of Catalonia (MCSC), in its third edition. These two maps have their own characteristics as for legend and base images. However, their greatest differences are related to the scale of reference and minimal area: for MCSC, the scale is 1:5000 and the minimum area of 500 m², whereas for SIOSE the scale is 1:25000, and the minimal area changes between 0,5 and 2 ha according to the classes. In spite of that, SIOSE can be obtained from MCSC, by not habitual and even innovative processes, in the Thematic Cartography. Thus, the thematic differences are settled because MCSC legend, of hierarchized type, has been made so that it is translatable to SIOSE legend. As for the disparity of scale and minimum area, it is solved by automatic processes of generalization of the MCSC graphic information. Finally, the differences derived from the comparison with the images of reference are overcome through adjustment of the product obtained from MCSC to the reference image of SIOSE.

Key Words: SIOSE, uses and covers of the ground, generalization of cartography.

INTRODUCCIÓN

SIOSE es el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España, cuyo objetivo es integrar la información de las Bases de Datos de cubiertas y usos del suelo de las Comunidades Autónomas y de la Administración General del Estado (IGN, 2008). La Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN, Ministerio de Fomento) coordina este proyecto.

En Cataluña, en la financiación del proyecto participan, junto con la Administración General del Estado, los Departamentos de Medio Ambiente y Vivienda (DMAH), Política Territorial y Obras Públicas, y Agricultura, Alimentación y Acción Rural de la Generalitat de Cataluña. El DMAH coordina la ejecución del proyecto, el

Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF) lleva a cabo la producción, mientras que del control de calidad autonómico se encarga el Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC). Para la interpretación, captura, edición y validación de datos en materia de ocupación del suelo relativos a su territorio, el CREAF utiliza el Mapa de Cubiertas del Suelo de Cataluña (MCSC) que el mismo realiza. Este mapa constituye una cartografía de alta resolución de las cubiertas del suelo (CREAF, 2008). El MCSC está financiado por los Departamentos de Medio Ambiente y Vivienda, y de Política Territorial y Obras Públicas de la Generalitat de Cataluña. Actualmente, se encuentra en su tercera edición (para más detalles, consultad Ibáñez et al. (2008), en estas misma publicación)

SIOSE y MCSC presentan características comunes:

- Sistema de información geográfica con una única capa de geometría de polígono.
- Perfil de metadatos siguiendo las recomendaciones y directrices marcadas por Norma Internacional ISO 19115.

Sin embargo, difieren en otras muchas (tabla 1).

Tabla 1. Principales diferencias del MCSC y del SIOSE.

DIFERENCIAS	SIOSE	MCSC
Escala de referencia	1: 25.000	1: 5.000
Sistema Geodésico de Referencia	ETRS 89	ED50 (parámetros UB/ICC)
Proyección UTM	Husos 28, 29, 30 y 31	Huso 31
Unidad mínima de superficie a representar	Superficies artificiales y láminas de agua: 1 ha. Playas, vegetación de ribera, humedales y cultivos forzados (invernaderos y bajo plástico): 0,5 ha. Zonas agrícolas, forestales y naturales: 2 ha.	500 m ²
Ancho mínimo de los elementos generales	15 m, excepto playas, vegetación de ribera, humedales y cultivos forzados que pueden ser de menor anchura	10 m, excepto las redes viaria catalogada y ferroviaria que no tienen esta limitación, carreteras no catalogadas que será de 7 m i pistas forestales no asfaltadas que será de 15m.
Pasillos	Se toleran estrechamientos inferiores a 15m siempre que no superen los 60 m de longitud.	No existe ninguna limitación
Imágenes de referencia	SPOT5 fusión de imágenes pancromática y multiespectral de 2,5 m de resolución espacial del año 2005	Ortoimágenes color natural de 2.5 m de resolución espacial del período 2005-2007
Leyenda	Jerarquizada, con 40 coberturas simples y 45 coberturas compuestas predefinidas en su nivel de mayor detalle	Jerarquizada, con 5 niveles y 217 cubiertas en su nivel de mayor detalle
Modelo conceptual de datos	Orientado a objetos	Orientado a capas
Formato de la Base de Datos SIOSE	Esri-ArcGis Intergraph-Geomedia Formato estándar admitido por OGC: .GML + Base Access	MiraMon
Formato de los metadatos	Fichero .XML	Fichero .REL de MiraMon

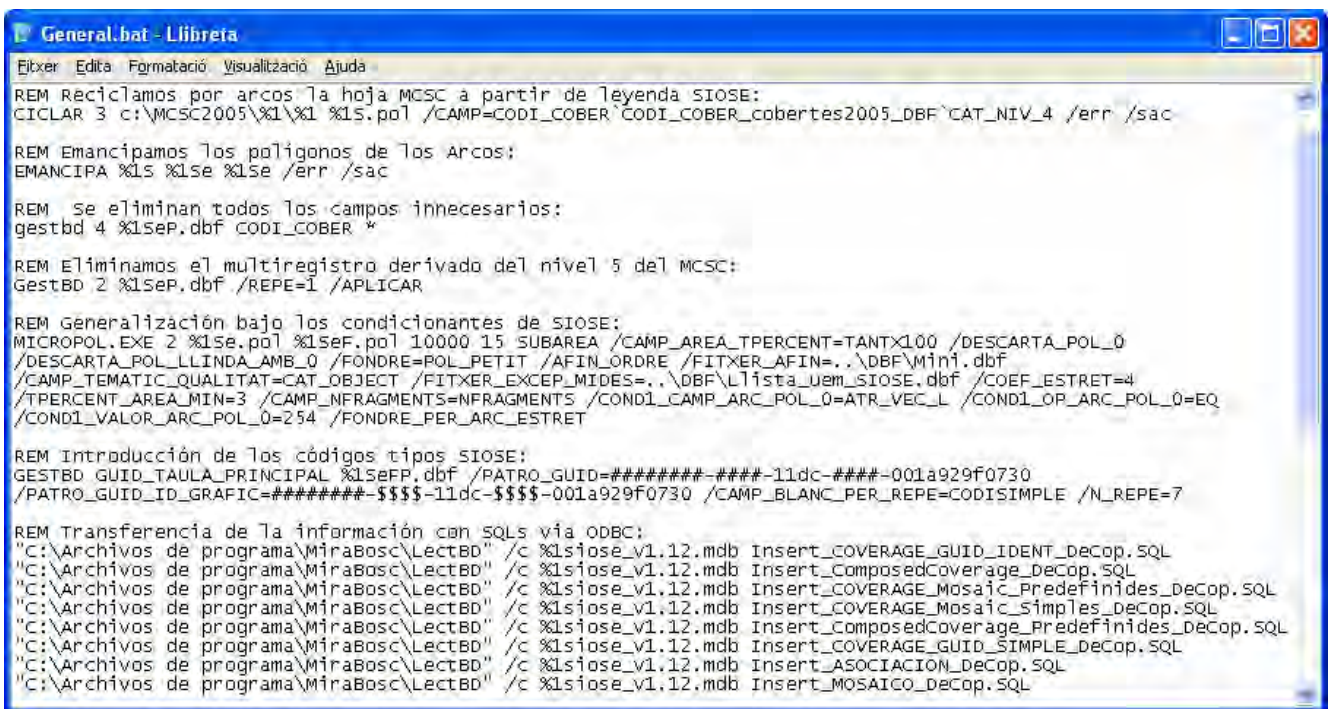
Una vez capturada la información, una de las principales tareas ha consistido en crear una pasarela desde el MCSC a SIOSE.

PASARELA DE MCSC A SIOSE

La transformación de MCSC a SIOSE consta de varios pasos:

1. Agrupación de los polígonos en el nivel de leyenda del MCSC correspondiente a SIOSE.
2. Creación de una capa de arcos adecuada a los polígonos resultantes de la agrupación de los polígonos en el nivel de leyenda del MCSC correspondiente a SIOSE.
3. Adecuación de las bases de datos de la información gráfica previa a la generalización del MCSC a SIOSE.
4. Generalización del MCSC a SIOSE.
5. Asignación de los códigos GUID.
6. Traspaso de la información de las bases de datos DBF a la base Access de SIOSE.
7. Cambio en el sistema geodésico de referencia.
8. Exportación de la parte gráfica.
9. Incorporación de los metadatos.
10. Control de calidad interno de SIOSE en Cataluña.
11. Control de calidad externo de SIOSE en Cataluña.

Como puede verse, el número de pasos en la generalización es importante; además, este proceso puede repetirse si por cualquier razón debe revisarse alguna parte del trabajo. El SIG-MiraMon ofrece la opción al usuario de utilizar procesos BATCH para automatizar los pasos, con el consiguiente ahorro de tiempo y esfuerzo. Basta para ello un simple editor de texto donde indicar qué módulos están implicados en la generalización (figura 1).



```
General.bat - Llibreta
Eixcer  Edita  Formatació  Visualització  Ajuda
REM Reciclamos por arcos la hoja MCSC a partir de leyenda SIOSE:
CICLAR 3 c:\MCSC2005\%1\%1 %1S.pol /CAMP=CODI_COBER`CODI_COBER_cobertes2005_DBF`CAT_NIV_4 /err /sac

REM Emancipamos los poligonos de los Arcos:
EMANCIPA %1S %1se %1se /err /sac

REM Se eliminan todos los campos innecesarios:
gestbd 4 %1sep.dbf CODI_COBER *

REM Eliminamos el multiregistro derivado del nivel 5 del MCSC:
GestBD 2 %1sep.dbf /REPE=1 /APLICAR

REM Generalización bajo los condicionantes de SIOSE:
MICROPOL.EXE 2 %1se.pol %1sep.pol 10000 15 SUBAREA /CAMP_AREA_TPERCENT=TANTX100 /DESCARTA_POL_0
/DESCARTA_POL_LLINDA_AMB_0 /FONDRE=POL_PETIT /AFIN_ORDRE /FITXER_AFIN=..\DBF\mini.dbf
/CAMP_TEMATIC_QUALITAT=CAT_OBJECT /FITXER_EXCEP_MIDES=..\DBF\Llista_uem_SIOSE.dbf /COEF_ESTRET=4
/TPERCENT_AREA_MIN=3 /CAMP_NFRAGMENTS=NFRAGMENTS /CONDI_CAMP_ARC_POL_0=ATR_VEC_L /CONDI_OP_ARC_POL_0=EQ
/CONDI_VALOR_ARC_POL_0=254 /FONDRE_PER_ARC_ESTRET

REM Introducción de los códigos tipos SIOSE:
GESTBD GUID_TAULA_PRINCIPAL %1sep.dbf /PATRO_GUID=#####-####-11dc-####-001a929f0730
/PATRO_GUID_ID_GRAFIC=#####-$$$$-11dc-$$$$-001a929f0730 /CAMP_BLANC_PER_REPE=CODISIMPLE /N_REPE=7

REM Transferencia de la información con SQLs via ODBC:
"C:\Archivos de programa\MiraBosc\LectBD" /c %1siose_v1.12.mdb Insert_COVERAGE_GUID_IDENT_DeCop.SQL
"C:\Archivos de programa\MiraBosc\LectBD" /c %1siose_v1.12.mdb Insert_ComposedCoverage_DeCop.SQL
"C:\Archivos de programa\MiraBosc\LectBD" /c %1siose_v1.12.mdb Insert_COVERAGE_Mosaic_Predefinides_DeCop.SQL
"C:\Archivos de programa\MiraBosc\LectBD" /c %1siose_v1.12.mdb Insert_COVERAGE_Mosaic_Simples_DeCop.SQL
"C:\Archivos de programa\MiraBosc\LectBD" /c %1siose_v1.12.mdb Insert_ComposedCoverage_Predefinides_DeCop.SQL
"C:\Archivos de programa\MiraBosc\LectBD" /c %1siose_v1.12.mdb Insert_COVERAGE_GUID_SIMPLE_DeCop.SQL
"C:\Archivos de programa\MiraBosc\LectBD" /c %1siose_v1.12.mdb Insert_ASOCIACION_DeCop.SQL
"C:\Archivos de programa\MiraBosc\LectBD" /c %1siose_v1.12.mdb Insert_MOSAICO_DeCop.SQL
```

Figura 1. Editor de textos donde se construyen las órdenes de los procesos BATCH, con el fin de automatizar la generalización del MCSC a SIOSE.

Agrupación de los polígonos en el nivel de leyenda del MCSC correspondiente a SIOSE

Las hojas del MCSC contienen la fotointerpretación y delimitación de las cubiertas del suelo de acuerdo con el nivel de máximo detalle temático, que es superior al de SIOSE, tal y como se menciona en la tabla 1. Sin embargo, y para garantizar la convergencia entre MCSC y SIOSE, las categorías de la leyenda del MCSC se han elaborado de manera que puedan agruparse en categorías correspondientes a la leyenda SIOSE. Este proceso queda facilitado por el hecho de que el Mapa de cubiertas posea una leyenda estructurada jerárquicamente en diferentes niveles, siendo uno de ellos equivalente a la leyenda SIOSE. Por tanto, el primer paso consiste en la fusión o reciclado de aquellos polígonos con la misma categoría según esta leyenda SIOSE. Para ello, se utiliza el módulo CICLAR del SIG-MiraMon (Pons, 2008) (figura 2).

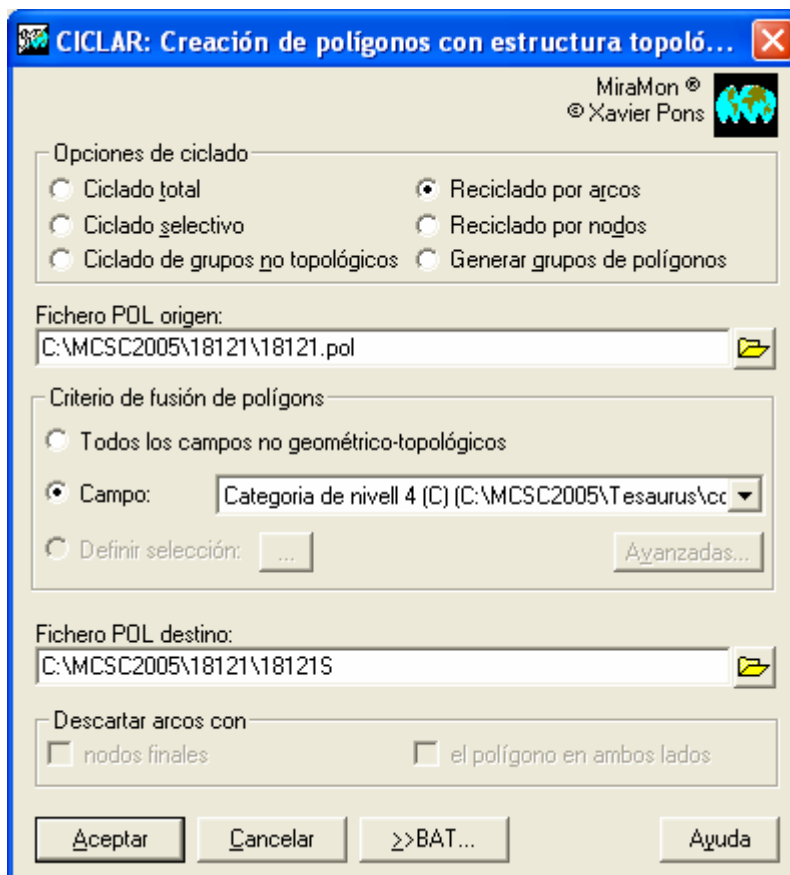


Figura 2. Módulo CICLAR del SIG-MiraMon utilizado para fusionar o reciclar los polígonos con la misma categoría SIOSE.

Creación de una capa de arcos adecuada a los polígonos resultantes de la agrupación de los polígonos en el nivel de leyenda del MCSC correspondiente a SIOSE

El módulo CICLAR del paso anterior genera una nueva capa de polígonos que se basa en la capa de arcos de la capa de polígonos original (la correspondiente al nivel de máximo detalle temático del MCSC). Es preciso que esta nueva capa se base en una capa de arcos propia, con un número menor de segmentos. Para ello, se utiliza el módulo EMANCIPA del SIG-MiraMon (figura 3). Si bien este módulo permite que el fichero destino y origen sean iguales, optamos por crear también nueva capa de polígonos.

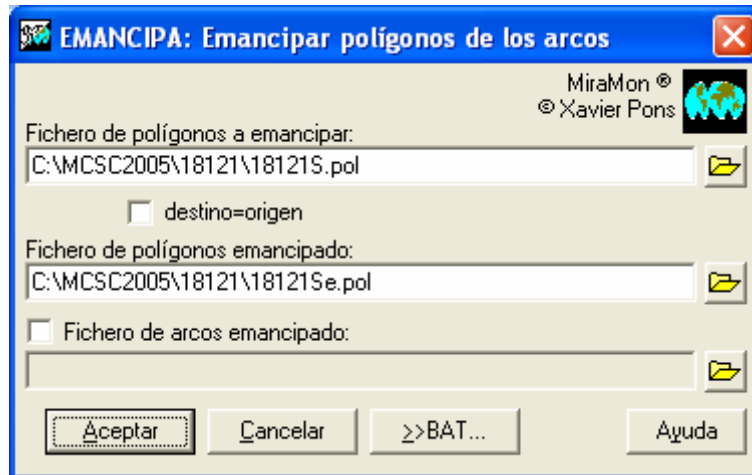


Figura 3. Módulo EMANCIPA del SIG-MiraMon utilizado para obtener una capa de polígonos con capa de arcos propia.

Adecuación de las bases de datos de la información gráfica previa a la generalización del MCSC a SIOSE

Los pasos anteriormente descritos suponen la aparición de multiregistro en las bases de datos (formato DBF IV) ligadas a la información geográfica, y que debe ser eliminado para una correcta generalización de MCSC a SIOSE. Este multiregistro es debido a que la leyenda del MCSC es más rica que la de SIOSE, y a que los pasos anteriores mantienen la información contenida en la base de datos de partida. Por otra parte, las bases del MCSC presentan un conjunto de información que no es de interés para SIOSE (básicamente, estadística descriptiva, e indicadores del paisaje). Estos problemas son resueltos con el módulo GestBD del SIG-MiraMon (figura 4).

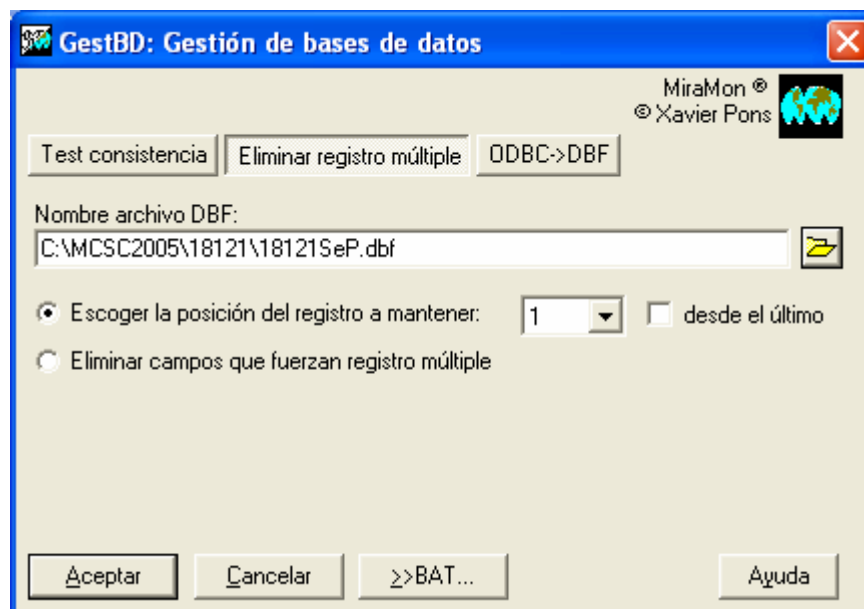


Figura 4. Módulo GestBD del SIG-MiraMon empleado para adecuar las bases de datos de la información gráfica en formato MiraMon previamente a la generalización del MCSC a SIOSE.

Generalización del MCSC a SIOSE

La generalización de la información gráfica del MCSC consiste en la adaptación a los requerimientos de superficies y anchuras mínimas de SIOSE, y la eliminación de pasillos (para conocer sus valores, véase Tabla 1), de manera que aquellos polígonos que no las cumplan se fusionarán con otros según los criterios aplicados en el programa. La generalización puede entenderse como dos procesos diferenciados, una generalización geométrica y otra temática.

- Generalización geométrica

La generalización automática de polígonos no es un tema aún resuelto como puede verse en la reciente literatura publicada sobre este tema. Muchos artículos se concentran solamente en el tema de la simplificación de las fronteras de polígonos, (Hershberger, 1998), (Johnston, 1999) usando el conocido algoritmo de Douglas-Peucker (Douglas, 1973) (Zhao, 2001) o eliminando armónicos de muy alta frecuencia usando transformadas de Fourier (Lawford, 2006). Pero éste es solo uno de los aspectos del proceso de generalización (Galanda, 2003). Otros autores se concentran en procesos de generalización de polígonos aislados ignorando cualquier relación espacial entre ellos (Gold et al., 2002). Otros sólo consideran la posible interferencia con polígonos vecinos en casos muy concretos (Galanda, 2001).

Sólo algunos autores consideran, al menos en parte, el problema de generalizar una capa de polígonos que recubre el espacio en su totalidad. En este caso, la modificación de cualquier polígono tiene implicaciones inmediatas, como mínimo en sus inmediatos vecinos (Bader, 1997) y algunos introducen las relaciones topológicas existentes en un *graph* plano 2D como vía para almacenar y mantener las relaciones topológicas entre objetos durante la generalización (Theobald, 2001).

Los algoritmos de generalización de polígonos implementados en SIG's de propósito general como ArcGIS o MiraMon han resultado insuficientes para la resolución de la generalización del MCSC para obtener un mapa que cumpla los requisitos de SIOSE por lo que ha sido necesaria la elaboración de un algoritmo específico para este paso que tenga en cuenta sus aspectos particulares y su complejidad.

Básicamente se han optimizado dos operaciones de generalización conocidas en la literatura: la eliminación de polígonos pequeños y la eliminación parcial de elementos delgados. Al eliminar polígonos éstos se fusionan a polígonos adyacentes (por ello esta operación se llama *dissolve* en inglés), generalmente escogiendo el polígono de área mayor (Jonson et al., 1999). Este método ha sido refinado para evitar algunos de sus problemas típicos. Por un lado, se procede a la eliminación de los polígonos de área inferior primero, procurando unirse con un polígono lo más pequeño posible y de atributo lo más similar posible. Por otro lado, se ha aplicado un proceso de eliminación de elementos delgados que pueden evitar la unión de polígonos que no son adyacentes pero que se encuentran muy cerca.

La eliminación de elementos delgados se ha realizado a partir de un algoritmo propio consistente en la densificación temporal del número de vértices que describen la frontera del polígono de forma que la distancia entre vértices sea 5 veces inferior a la magnitud del elemento más delgado tolerado. Posteriormente se miden las distancias de un vértice dado al resto de vértices del polígono y se determina el menor mínimo local y se asigna a este vértice ese valor como la delgadez. Cuando se detecta un número determinado de vértices seguidos con una delgadez inferior a la delgadez menor tolerada se considera que se ha encontrado un tramo delgado en el polígono. Este tramo de polígono es cortado del resto del polígono introduciendo segmentos lineales para separarlo del resto. No se elimina todavía el polígono enteramente delgado resultante dado que este proceso se demora hasta que se ejecuta el proceso de eliminación de polígonos pequeños dado que se ha visto que esto permite mejores resultados.

- Generalización temática

Los aspectos temáticos (semánticos) deben ser también considerados durante los procesos de eliminación de polígonos pequeños o fragmentos de polígonos delgados. Un conjunto de reglas pueden ser usadas para especificar prioridades de fusión entre polígonos vecinos. (Daley y Goodenough, 1997). Se ha definido una tabla de prioridades de fusión entre polígonos en función de los atributos a ambos lados de una frontera. Esto tiene la doble ventaja de generar polígonos temáticamente más homogéneos y aproximar automática-

mente el resultado final lo más posible a los requerimientos de la leyenda de SIOSE. Por otro lado también se han definido un conjunto de reglas que especifican los límites de delgadez y de pequeñez de cada polígono cosa que es particularmente importante para la obtención de SIOSE porque estos límites dependen del valor de los atributos.

Cabe destacar que en los procesos de fusión de polígonos se conservan todos los atributos como registro múltiple del objeto en cuestión y también se guarda el valor del área original que ocupa cada atributo en el mapa original. El resto de procesos también respetan esta información por lo que se llega al final del proceso con información precisa y suficiente que permita adaptar la leyenda del mapa original a la leyenda de SIOSE con facilidad. En este caso se ordenan los atributos de mayor a menor área original y se ha añadido la posibilidad de eliminar información cuando el porcentaje de área ocupada es marginal.

La generalización se lleva a término con el módulo MicroPol del SIG-MiraMon (figura 5). Las superficies y anchuras mínimas se introducen en el programa mediante una base de datos en formato DBF IV, mientras que para la eliminación de los pasillos la información se suministra mediante parámetros (anchura mínima de un polígono SIOSE, 15 m, y longitud máxima para que un pasillo sea tolerable, 60 m).

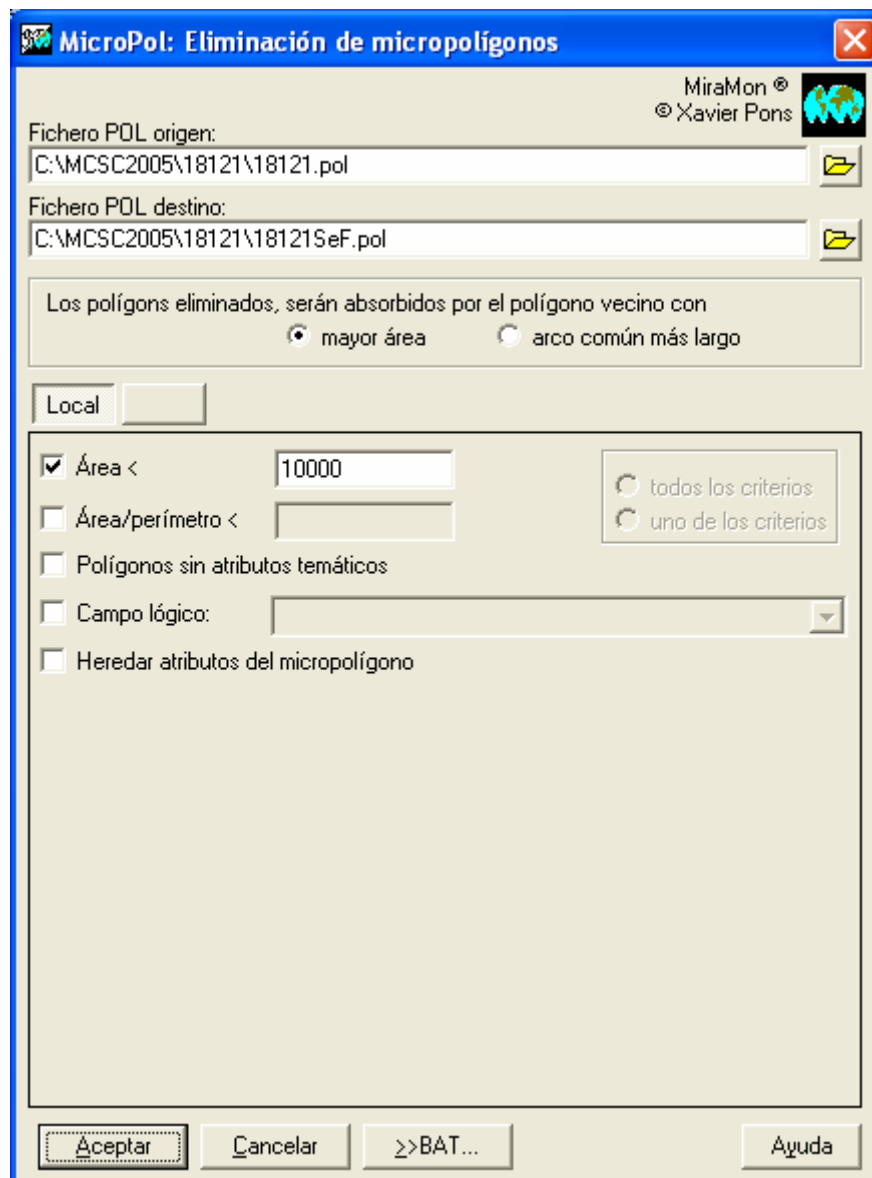


Figura 5. Módulo MicroPol del SIG-MiraMon mediante el cual se generaliza la información geográfica del MCSC a SIOSE.

Por otra parte, de la fusión de diferentes polígonos aparecen otros nuevos que contienen la información de los polígonos originales fusionados, incluso en proporciones muy bajas. Esto es así porque la superficie mínima del MCSC (500 m²) es muy pequeña en comparación a la de SIOSE (entre 0.5 ha i 2 ha). Para evitar una relación demasiado extensa de categorías poco representativas, con el mismo programa se aplica un umbral del 3% de la superficie total del polígono por debajo del cual no se incorpora la información de los objetos gráficos más pequeños; este porcentaje es más estricto que las especificaciones SIOSE, en que se acepta no se recoja por debajo del 5%.

Este módulo además calcula la superficie absoluta y relativa de cada una de las categorías contenidas en los polígonos fusionados.

Asignación de los códigos GUID

Los polígonos y cada una de las categorías presentes en ellos, siguiendo la normativa del proyecto SIOSE, han de tener asignados unos códigos GUID. En el caso de SIOSE en Cataluña, se ha desarrollado una opción *ad hoc* en el módulo GestBD del SIG-MiraMon que permite obtenerlos y asignarlos a los polígonos resultantes de la generalización del MCSC. Estos códigos se almacenan en las mismas bases de datos DBF ligados a la parte gráfica (figura 6).

	GUID_IDENT	GUID_ATRIB
424	7adfeb92-55d9-11dc-a42e-001a929f0730	f3fd5bdf-55d9-11dc-a42e-001a929f0730
425	7adfeb92-55d9-11dc-a42e-001a929f0730	f3fd5bdf-55d9-11dc-a42e-001a929f0730
426	7adfeb92-55d9-11dc-a42e-001a929f0730	f3fd5bdf-55d9-11dc-a42e-001a929f0730
427	7adfeb92-55d9-11dc-a42e-001a929f0730	f3fd5bdf-55d9-11dc-a42e-001a929f0730
428	7adfeb92-55d9-11dc-a42e-001a929f0730	f3fd5bdf-55d9-11dc-a42e-001a929f0730
429	7adfeb92-55d9-11dc-a42e-001a929f0730	f3fd5bdf-55d9-11dc-a42e-001a929f0730
430	7adfeb92-55d9-11dc-a42e-001a929f0730	f3fd5bdf-55d9-11dc-a42e-001a929f0730
431	7adfeb92-55d9-11dc-a42e-001a929f0730	07769b28-55d9-11dc-a42e-001a929f0730
432	b63262a8-d3af-11dc-88ff-001a929f0730	acca95df-d3af-11dc-88ff-001a929f0730

Figura 6. Módulo MiraDades del SIG-MiraMon mostrando dos de los campos que contienen códigos GUID en la base de datos DBF de la parte gráfica de los polígonos SIOSE.

Traspasso de la información de las bases de datos DBF a la base Access de SIOSE

La información que el proyecto exige y que está contenida en la base de datos DBF IV de la capa gráfica en formato MiraMon debe transferirse a la base Access de SIOSE. En este caso, se ha utilizado el programa MiraBosc (Vayreda, 2008). Este programa se basa en el estándar Open Database Connectivity (ODBC) que es un estándar de acceso a Bases de Datos desarrollado por Microsoft Corporation; el objetivo de ODBC es hacer posible el acceder a cualquier dato desde cualquier aplicación, sin importar qué Sistema Gestor de Bases de Datos almacene los datos (Microsoft, 2008).

El proceso consiste en la confección y aplicación de una serie de consultas escritas en lenguaje SQL (figura 7). El Lenguaje de consulta estructurado (SQL, en inglés Structured Query Language) es un lenguaje declarativo de acceso a bases de datos relacionales que permite especificar diversos tipos de operaciones sobre las mismas. Una de sus características es el manejo del álgebra y el cálculo relacional permitiendo lanzar consultas con el fin de recuperar -de una forma sencilla- información de interés de una base de datos, así como también hacer cambios sobre la misma (Klein, 2004).

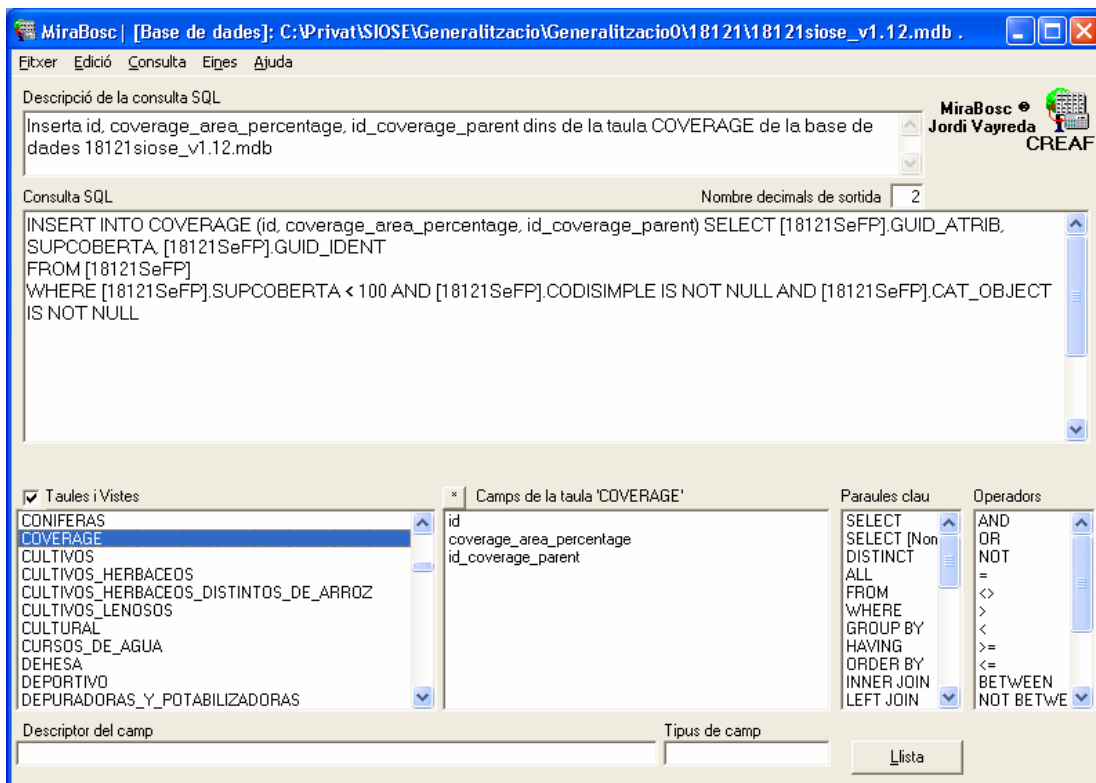


Figura 7. Programa MiraBosc utilizado para la transferencia de la información desde las bases de datos DBF de la información gráfica en formato MiraMon a la base de datos Access de SIOSE.

Cambio en el sistema geodésico de referencia

El MCSC es elaborado en el sistema geodésico de referencia ED50 (parámetros UB/ICC). Sin embargo, el sistema geodésico de referencia de SIOSE es ETRS89. Por tanto, se impone un cambio de sistema de referencia que en nuestro caso lo realizamos con el módulo CanviPrj del SIG-MiraMon (figura 8).

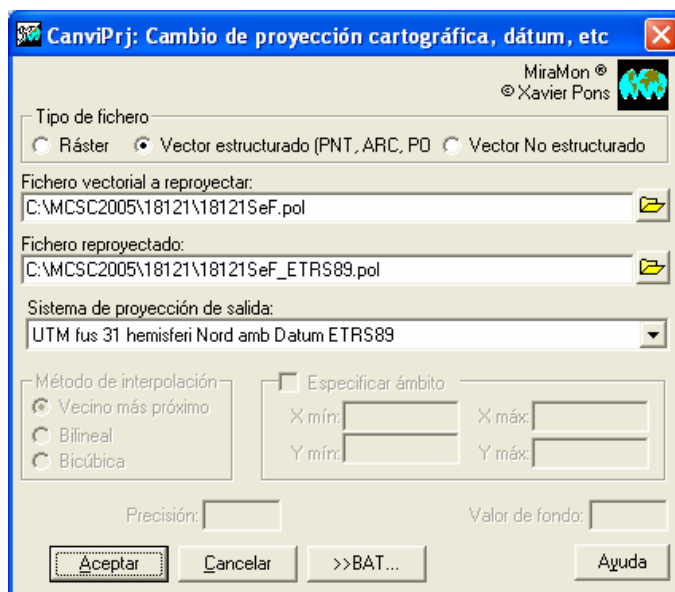


Figura 8. Módulo CanviPrj del SIG-MiraMon, utilizado para cambiar el sistema de proyección de la base geográfica de ED50 a ETRS89

Exportación de la parte gráfica

Como ya hemos comentado, el MCSC utiliza como SIG, a MiraMon; el formato del fichero vectorial es el propio de este programa. De entre las opciones de exportación, el MCSC opta por la transformación a formato Shape de Esri con el módulo ShpTop de MiraMon (figura 9). Este paso cierra el proceso de generalización desde el MCSC al SIOSE.

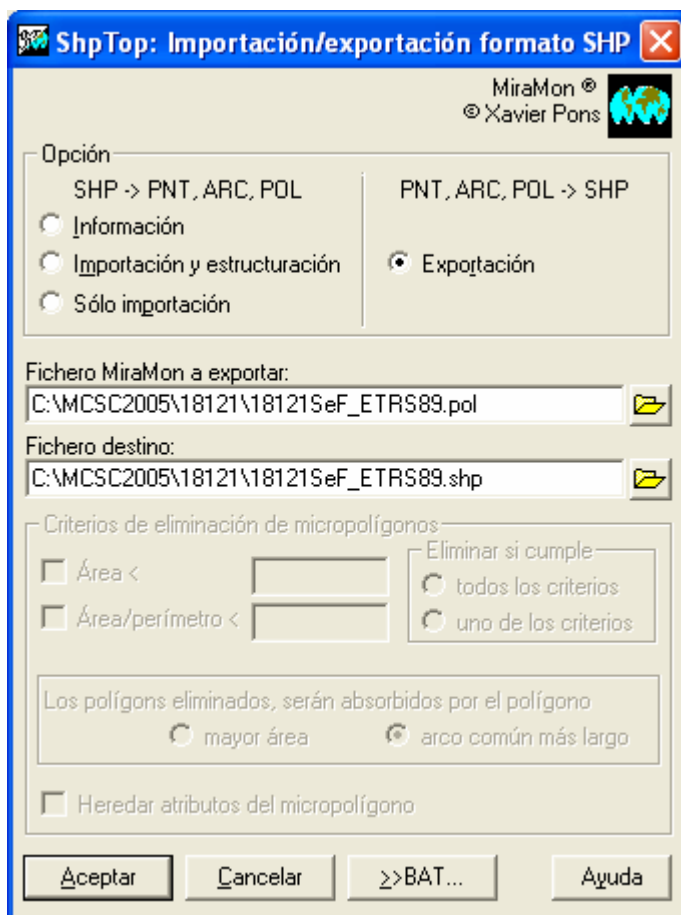


Figura 9. Módulo CanviPrj del SIG-MiraMon, utilizado para cambiar el sistema de proyección de la base geográfica de ED50 a ETRS89

Incorporación de los metadatos

El MCSC elabora sus propios metadatos. Éstos son o se han hecho compatibles con los de SIOSE. Para su incorporación y gestión, se utiliza el módulo GeMM del SIG-MiraMon (figura 10). Puesto que el formato generado por este módulo, REL, no es compatible con el de SIOSE, XML, se emplea la capacidad del módulo de exportar a formato XML. El fichero XML producido es altamente compatible con la plantilla XML proporcionada por la Dirección Técnica de SIOSE. Las pocas diferencias se solventan mediante retoques con otro módulo del SIG-MiraMon, CanviRel.

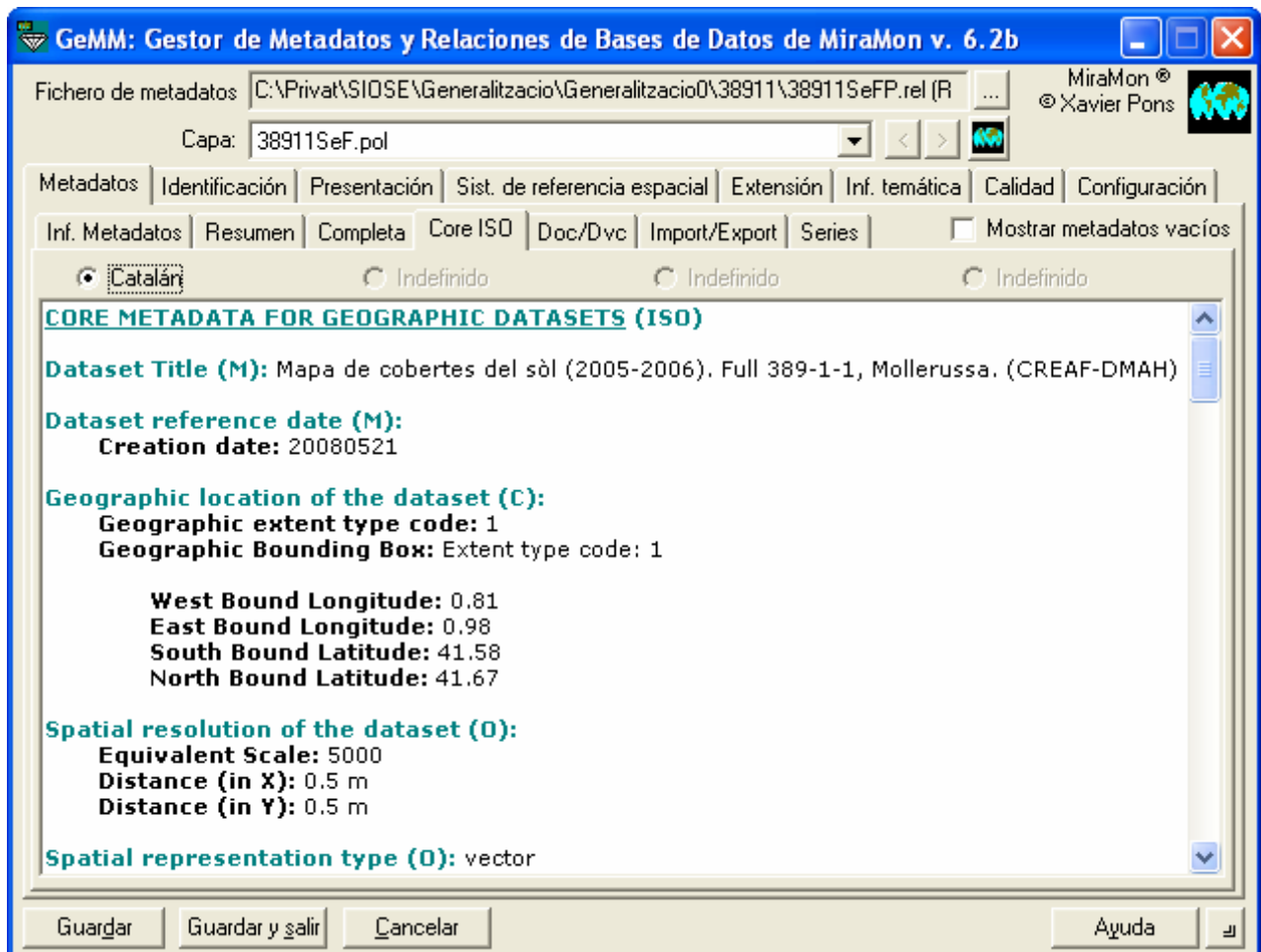


Figura 10. Módulo GeMM del SIG-MiraMon, utilizado para la gestión de los metadatos, tanto del MCSC como de SIOSE en Cataluña.

Control de calidad interno de SIOSE en Cataluña

Una vez acabados todos los procesos anteriores, se procede al control de calidad de SIOSE por parte del CREAM. Para ello se hacen dos revisiones:

- La primera, sobre las ortoimágenes 1:5000 de referencia para el MCSC, ya que tienen un alto nivel de detalle para validar la información (figura 11).
- La segunda, sobre las imágenes SPOT 1:25000 de referencia para el SIOSE, puesto que podría haber diferencias temporales entre estas, que son del año 2005, y las ortoimágenes, que abarcan el período 2005-2007 (figura 12).

Una vez concluida la revisión, puede considerarse acabado el proceso de producción del SIOSE (figura 13).

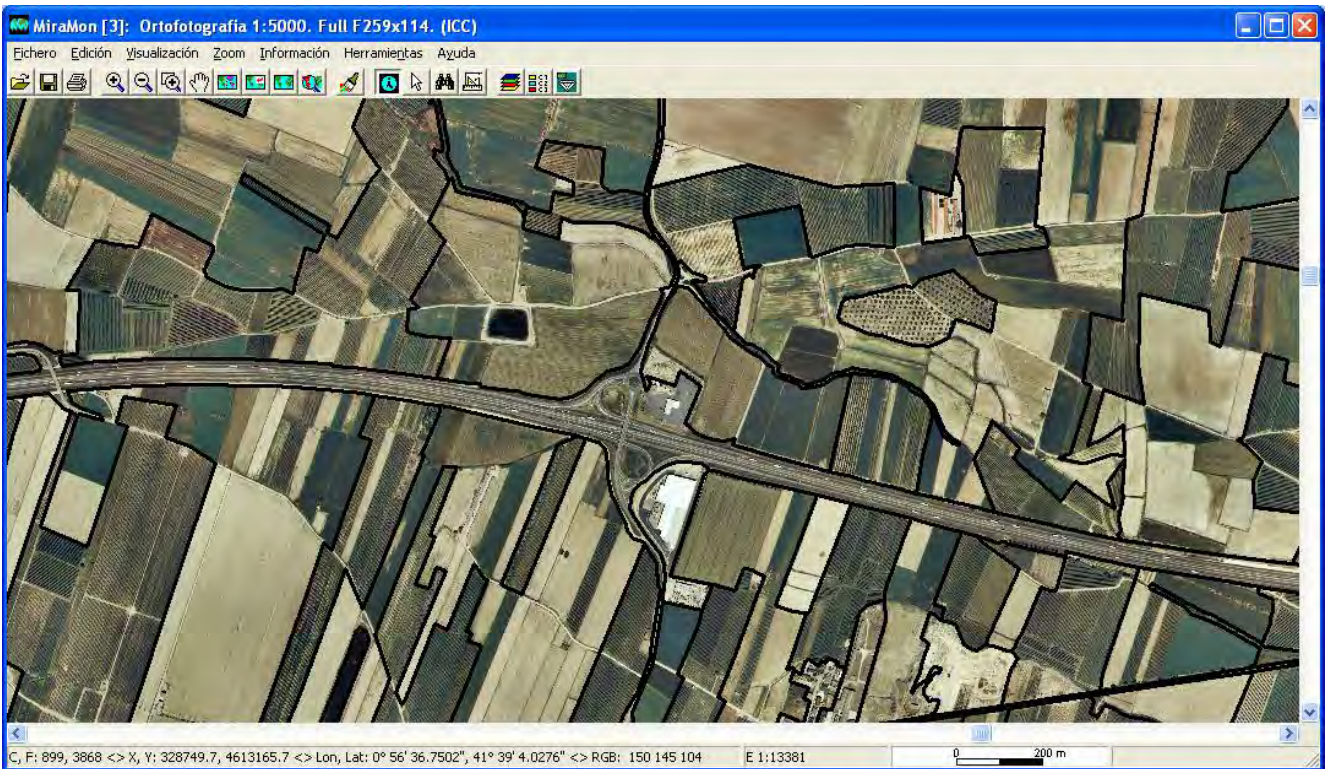


Figura 11. Ortoimagen 1:5000 con los polígonos de SIOSE superpuestos, una vez completada la generalización, en color negro. Compruébese la perfecta concordancia entre polígonos e imagen.

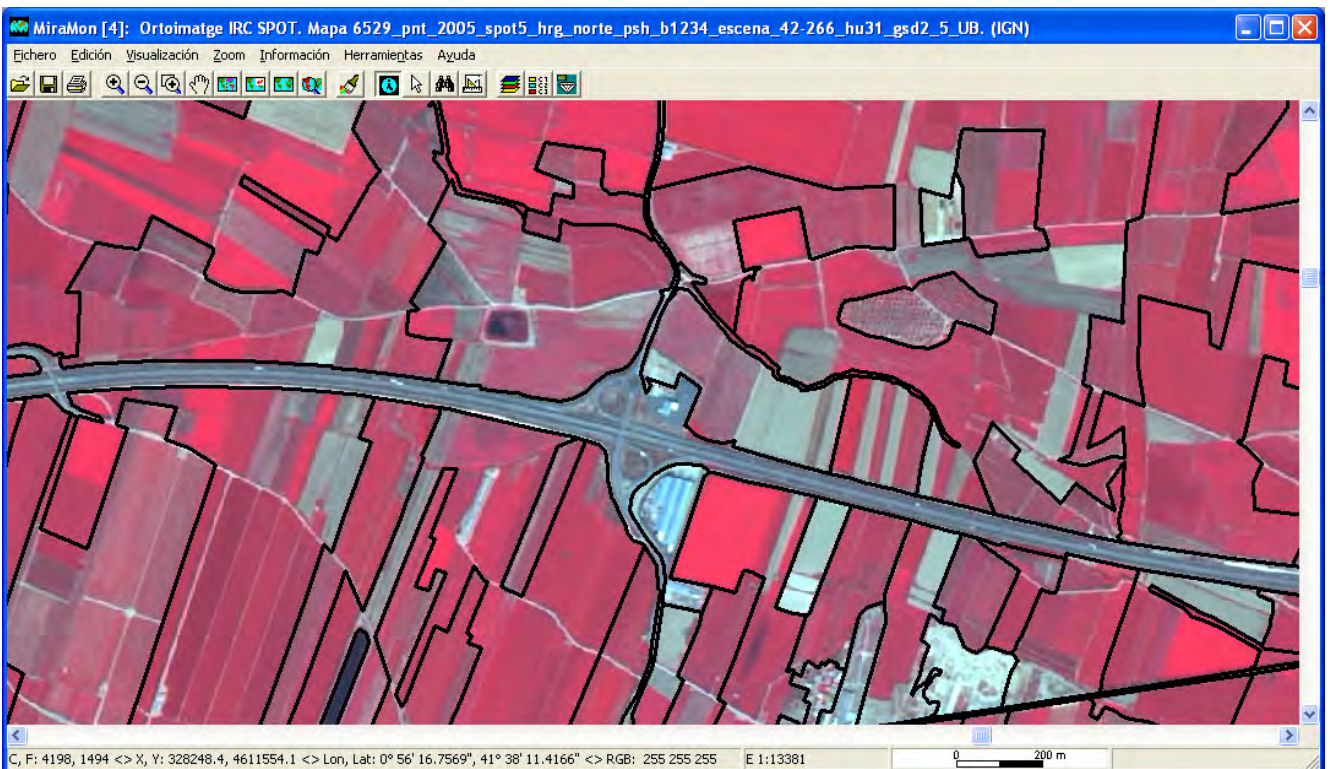


Figura 12. Imagen SPOT 1:25000 con los polígonos de SIOSE superpuestos, una vez completada la generalización, en color negro. En este caso, no se observan diferencias temporales ya que la ortofotografía base era del año 2005.

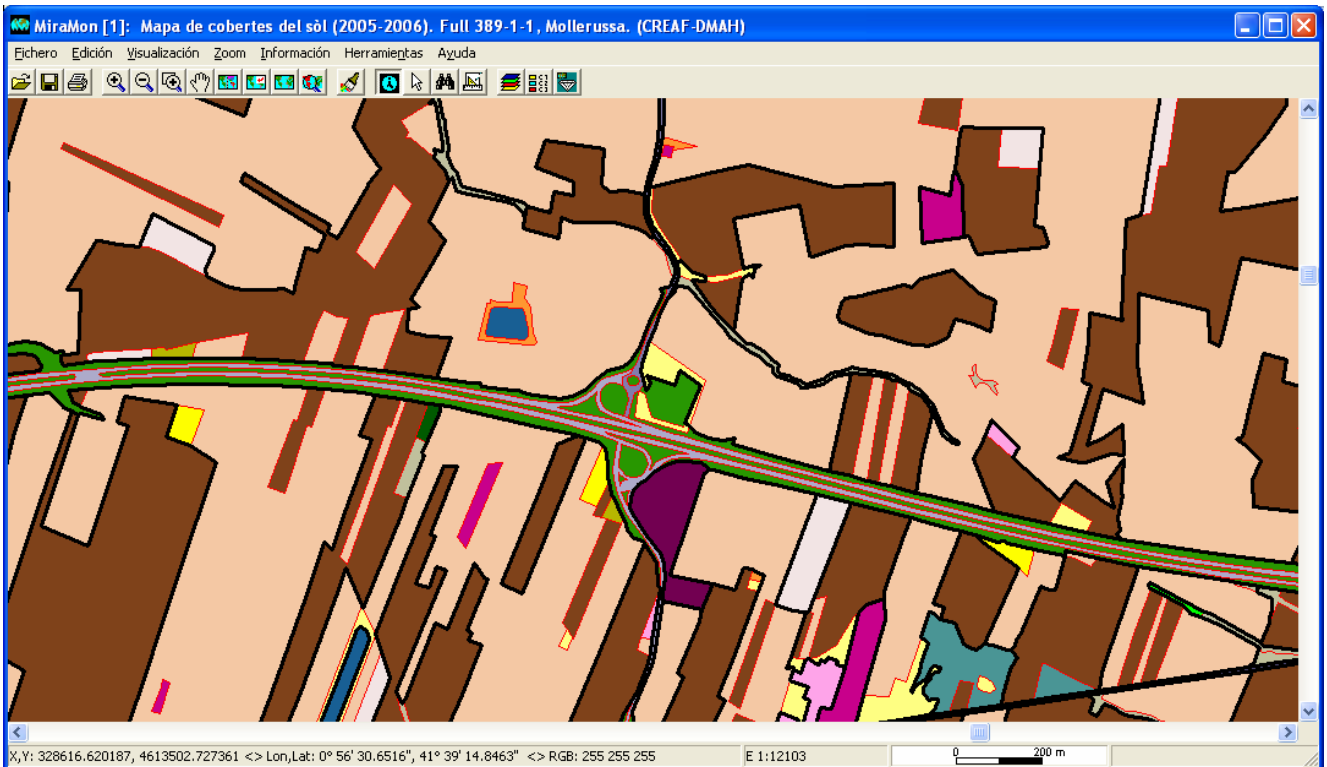


Figura 13. En la imagen se superponen el Mapa de cubiertas del suelo de Cataluña (en colores) y la generalización final ya como producto SIOSE (trazos gruesos de color negro). Obsérvese como la autopista (el polígono que cruza de lado a lado) para el MCSC son dos cubiertas, la calzada y los parterres y rotondas, que por el proceso de generalización se convierten en la categoría SIOSE de Red Viaria.

Control de calidad externo de SIOSE en Cataluña

Finalmente, este material es entregado, para su control de calidad externo, al ICC quien, si considera que debe hacerse alguna corrección, lo retorna al CREAM para que así proceda, y si es correcto, éste lo remite al IGN para que efectúe un ulterior control de calidad. De no ser correcto, el producto es retornado al CREAM para que reinicie el proceso de revisión.

AGRADECIMIENTOS

Al equipo de fotointerpretación del CREAM, sin cuyo trabajo este artículo habría sido imposible: O.Boet, R. Castells, M. Deu, A. Grau, A. Guàrdia, C. Guerrero, R. Isern, E. Ollé, y P. Vicente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bader, M. y Weibel, R. (1997): Detecting and resolving size and proximity conflicts in the generalization of polygonal maps. *Proceedings 18th International Cartographic Conference*, Stockholm, pp. 1525-1532.

CREAF (2008): Mapa de cobertes del sòl de Cataluña (MCSC): <http://www.creaf.uab.cat/mcsc/>

- Daley, N., Goodenough, D.G., Bhogal, A.S., Bradley, Q. y Yin, Z. (1997): Comparing Raster And Object Generalization. *Geoscience and Remote Sensing, IGARSS '97. 'Remote Sensing - A Scientific Vision for Sustainable Development'*, vol.2, pp. 677-679.
- Douglas, D.H. y Peucker, T.K. (1973): Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a line or its caricature. *The Canadian Cartographer*, 10 (2): 112-122.
- Galanda, M. (2001): Optimization techniques for polygon generalization *ICA Workshop on Progress in Automated Map Generalization*.
- Galanda, M. (2003): *Automated Polygon Generalization in a Multi Agent System*. Thesis. Department of Geography of the University of Zurich.
- Galanda, M. (2003): Modelling constraints for polygon generalization. *ICA Workshop*, París.
- Gold, C., Thibault, D. y Liu, Z. (2002): Map Generalization by Skeleton Retraction GenThib. *21th International Cartographic Generation*.
- Hershberger, J. y Snoeyink, J. (1998): Cartographic line simplification and polygon CSG formul' in $O(n \log^* n)$ time. *Computational Geometry*, 11: 175-185.
- Ibáñez, J.J. y Burriel, J.A. (2008): Mapa de cubiertas del suelo de Cataluña: Metodología de la tercera edición. *XIII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*. Las Palmas de Gran Canaria.
- IGN (2008): Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE): <http://www.ign.es/siose/>
- Johnston, M.R., Scout, C.D. y Giba, RG (1999): Problems Arising From A Simple GIS Generalisation. En.: *SIRC 99 The 11th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre*. University of Otago, Dunedin, New Zealand, pp. 191-200.
- Kline, K. (2004): *SQL in a Nutshell: a Desktop Quick Reference*. O'Reilly & Associates Inc, Chambersburg, Pennsylvania, 710 pp.
- Lawford, G.J. (2006): Fourier Series and the cartographic line. *International Journal of Geographical Information Science*, 20: 31-52.
- Microsoft Corporation (2008): Sistema Microsoft Open Database Connectivity (ODBC): [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms710252\(VS.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms710252(VS.85).aspx)
- Pons, X. (2008): *MiraMon. Geographic Information System and Remote Sensing software*. CREA, Bellaterra.
- Theobald, D.M. (2001): Topology revisited representing spatial relations *Int. J. Geographical Information Science*, 15 (8): 689-705.
- Vayreda, J. (2000): MiraBosc: un programa gestor de l'Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. *Silvicultura*, 29: 7-9.

Carretero Moreno, Inmaculada y Morant De Diego, Teresa (2008): Interrogantes y reflexiones sobre una IDE local: experiencias del Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial (Jornadas Técnicas)*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 890-902. ISBN: 978-84-96971-53-0.

INTERROGANTES Y REFLEXIONES SOBRE UNA IDE LOCAL: EXPERIENCIAS DEL AYUNTAMIENTO DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

Carretero Moreno, Inmaculada¹ y Morant De Diego, Teresa²

(1) Sección de Geosistemas del Servicio de Planeamiento. Excmo. Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria. C/León y Castillo,270. 35005. Las Palmas de Gran Canaria. icarretero@laspalmasgc.es

(2) Departamento de Cartografía y Expresión Gráfica en la Ingeniería. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Campus Universitario de Tafira, 35017. Las Palmas de Gran Canaria. mmorant@dcegi.ulpgc.es

RESUMEN

SICAM es el Sistema de Información Cartográfica de Ámbito Municipal del Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria. Su andadura como tal se inició en el año 2001, pasando con el tiempo a convertirse en el SIG corporativo municipal a partir del cual se empezó a diseñar la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) para el municipio de Las Palmas de Gran Canaria.

La generación de una única base cartográfica, la interoperatividad entre los sistemas de información y la metodología de trabajo colaborativo constituyen algunos de los principios básicos de SICAM. En este artículo en primer lugar exponemos algunos interrogantes y reflexiones que desde el ámbito de SICAM se están realizando, tales como: ¿qué significa exactamente disponer de una única base cartográfica?, ¿qué significa que dos sistemas geográficos sean interoperables?, ¿las IDE que están publicando datos espaciales con servicios web, son interoperables simplemente por el hecho de publicar?, ¿qué relevancia tiene la base cartográfica utilizada en cada uno de estos sistemas?, etc.

En segundo lugar, abordaremos la descripción de algunos trabajos relativos a la normalización, el modelado territorial, la coordinación y colaboración, el fomento de la cultura de la geoinformación, de los planes de formación...; dichos trabajos están contribuyendo al desarrollo de SICAM y a la vez están sentando algunas de las bases para la creación de la IDE municipal.

Por último, apuntaremos algunas líneas de trabajo futuras para seguir avanzando en los diferentes proyectos multitemáticos e interdisciplinarios que se están impulsando desde SICAM, y que se espera que en su conjunto contribuyan a desarrollar de manera exitosa la IDE del municipio de Las Palmas de Gran Canaria.

Palabras Clave: SICAM, IDE, base cartográfica, interoperatividad, Las Palmas de Gran Canaria.

ABSTRACT

SICAM is the municipal Cartographic Information System for Las Palmas de Gran Canaria council. His journey as such was initiated in 2001, rising over time to become the corporate municipal GIS from which they began designing Spatial Data Infrastructure (SDI) for the town of Las Palmas de Gran Canaria.

The generation of a single base mapping, interoperability among information systems and methodology of collaborative work are some of the basic principles of SICAM. This article first expose some questions and reflections from the field of SICAM are underway, such as: what exactly was meant to have a single cartographic base and what that means two systems are interoperable geographic?, Does FDI who are publishing spatial data with web services, are interoperable simply by the fact publish and what relevance is the cartographic base used in each of these systems?, and so on.

Secondly, we will address the description of some work on standardization, modeling territoria, coordination and collaboration, fostering a culture of geoinformation, training plans ... these jobs are contributing to the development and SICAM while some are laying the foundations for the creation of municipal SDI.

Lastly, some lines of future work for further progress in different projects multithematic and interdisciplinary that are deriving from SICAM, and are expected to contribute as a whole to develop so successful SDI in the municipality of Las Palmas de Gran Canaria.

Key Words: SICAM, SDI, cartographic base, interoperability, Las Palmas de Gran Canaria.

INTRODUCCIÓN

SICAM es el Sistema de Información Cartográfica de Ámbito Municipal del Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria. Iniciado en el año 2001, es coordinado e impulsado por el Servicio de Planeamiento del Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria con el objeto de dar respuesta a las necesidades de coordinación e integración de todas las iniciativas y proyectos que en materia territorial se daban en el Municipio de Las Palmas de Gran Canaria (Carretero, 2002a; 2002b; Cerpa y Carretero, 2000).

Con el tiempo SICAM se ha constituido en el SIG corporativo municipal a partir del cual, gracias a la madurez tecnológica y a la experiencia adquirida tienen vocación de convertirse en la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) para el municipio de Las Palmas de Gran Canaria. Dicha IDE se concibió para poder dar respuesta a las necesidades planteadas desde el consistorio en materia de acceso y uso a la geoinformación municipal, a la vez que se seguían en todo momento las orientaciones y trabajos que se venían dando, tanto a nivel de la Unión Europea, consolidados en la Directiva INSPIRE (INSPIRE, 2008; Parlamento Europeo, 2007), como a nivel nacional mediante la Infraestructura de Datos Espaciales de España, IDEE (IDEE, 2008; Cerpa, Carretero y Morant, 2006; Morant, 2007).

Tras el estudio de las recomendaciones que apuntaban los dichos trabajos, se procedió al estudio de las necesidades municipales en materia de accesibilidad, disponibilidad, intercambio y uso de geoinformación, así como de las herramientas necesarias para su explotación y análisis. A continuación se definieron algunos de los principios básicos que iban a caracterizar SICAM: el establecimiento de una única base cartográfica; la responsabilidad de la calidad de los datos; la voluntariedad de participación; el uso compartido de la información; la colaboración interdisciplinar; la interoperatividad entre sistemas de información; la interoperatividad entre organizaciones; la formación y capacitación y la difusión, divulgación y fomento de la accesibilidad a la geoinformación municipal.

En este artículo, tras describir el marco legal en relación a la IDE europea y española, abordamos una serie de reflexiones e interrogantes y describiremos nuestras experiencias acerca de algunos de los aspectos clave que han permitido que SICAM haya ido sentando las bases tecnológicas y organizacionales necesarias para la creación de la IDE municipal. Estos aspectos son: la generación de una única base cartográfica; la interoperatividad entre los sistemas de información, la interoperatividad entre organizaciones y el modelo de implementación de SICAM.

Finalmente apuntaremos algunas líneas de trabajo futuras para seguir avanzando en los diferentes proyectos multitemáticos e interdisciplinares que se están impulsando desde SICAM, y de las que se espera contribuyan a desarrollar de manera exitosa la IDE del municipio de Las Palmas de Gran Canaria.

MARCO LEGISLATIVO

La **Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea (INSPIRE)** señala en su Preámbulo que las IDE de los Estados Miembros deben concebirse de forma que se garantice el almacenamiento, disponibilidad y mantenimiento de datos espaciales (geoinformación) al nivel más adecuado, esto es; que sea posible combinar, de forma coherente, datos espaciales de diversas fuentes en toda la Comunidad, y puedan ser compartidos entre distintos usuarios y aplicaciones; que sea posible que los datos espaciales recogidos a un determinado nivel de la autoridad pública sean compartidos con otras autoridades públicas; que pueda darse difusión a los datos espaciales en condiciones que no restrinjan indebidamente su utilización generalizada y que sea posible localizar los datos

espaciales disponibles, evaluar su adecuación para un determinado propósito y conocer las condiciones de uso (Parlamento Europeo, 2007).

Todo ello, sin perjuicio de la existencia o posesión de derechos de propiedad intelectual de las autoridades públicas. Adicionalmente, INSPIRE establece la obligatoriedad de ofrecer al público una serie de servicios de carácter gratuito, como son los servicios de localización y visualización de datos espaciales.

Se evidencia así un nuevo paradigma, basado en la actuación cooperativa y descentralizada de los distintos agentes, que requiere para su funcionamiento la máxima facilidad en el acceso y uso del dato geográfico.

A grandes rasgos, según la IDE europea deberá incluir: la geoinformación; los atributos asociados a la misma; documentación suficiente para su uso (metadatos); un medio para descubrir, visualizar y evaluar los datos (catálogos de metadatos y cartografía web) y algún método que proporcione el acceso a los datos espaciales (aplicaciones web y servicios a través, por ejemplo, de un geoportal).

Por otro lado, según el **Real Decreto 1545/2007**, por el que se regula el Sistema Cartográfico Nacional de España, tendrán la consideración de IDE aquellas estructuras virtuales integradas por datos georreferenciados distribuidos en diferentes sistemas de información geográfica, que sean accesibles vía Internet con un mínimo de protocolos y especificaciones normalizadas que, además de los datos y sus descripciones (metadatos), incluyan las tecnologías de búsqueda y acceso a dichos datos, las normas para su producción, gestión y difusión, así como los acuerdos entre sus productores y entre éstos y los usuarios. Para asegurar la interoperabilidad entre los SIG integrados en la denominada Infraestructura Nacional de Información Geográfica, y entre éstos y los de los usuarios externos, las soluciones tecnológicas aplicadas deberán cumplir las normas nacionales en materia de información geográfica y las especificaciones que determine el Consejo Superior Geográfico, conforme a estándares internacionales (BOE, 2007b).

La información incluida en la Infraestructura Nacional de Información Geográfica el Decreto la clasifica en dos categorías: la Información Geográfica de Referencia y los Datos Temáticos Fundamentales. La Información Geográfica de Referencia comprende la información generada por el Equipamiento Geográfico de Referencia Nacional; los bienes inmuebles inscritos en el catastro con sus correspondientes referencias catastrales y direcciones; los datos altimétricos; las instalaciones, redes e infraestructuras del transporte, la hidrografía y la descripción de la superficie terrestre y de la zona costera marítima próxima. Como podemos apreciar, la geoinformación a nivel local (municipal) juega un importantísimo papel en la creación de dicha infraestructura, por constituir la información más rica y detallada a nivel de escala, así como la más requerida para la gestión territorial municipal y para su uso en infinidad de aplicaciones que caracterizan lo que se ha venido a llamar la Sociedad de la Información, considerándose por tanto la geoinformación como un elemento estratégico para la toma de decisiones y la creación de conocimiento y riqueza.

En cuanto a los Datos Temáticos Fundamentales, estos son los relativos a: medio físico; la sociedad y población; las áreas de especial protección o regulación; el aire y clima; la biodiversidad y biota; los recursos naturales; la ocupación, cobertura y usos del suelo; la geología; los riesgos naturales y tecnológicos; los suelos urbanos y las áreas afectables por nuevos desarrollos urbanísticos.

Asimismo, dicho Decreto prescribe que el acceso a los servicios de información geográfica se realizará a través de Internet o de cualquier otro servicio de telecomunicaciones y estará condicionado al cumplimiento por los interesados de los requerimientos técnicos que permitan la interoperatividad de sus sistemas con la Infraestructura Nacional de Información Geográfica. El acceso a los servicios de información geográfica será público (exceptuándose los casos previstos por la ley). Por otro lado, si una Comunidad Autónoma no se integra en el Sistema Cartográfico Nacional, las Entidades Locales de su ámbito territorial podrán solicitar, a través de la referida Asociación de Entidades Locales, su participación en el Sistema.

La **ORDEN FOM/956/2008, del Ministerio de Fomento, por la que se aprueba la política de difusión pública de la información geográfica** generada por la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (BOE, 2008), establece que el incremento de la demanda de geoinformación por parte de las Administraciones Autonómicas y Entidades Locales, así como por los requerimientos de las Universidades, Organismos de Investigación, empresas públicas y privadas y los usuarios particulares en general, unido a la demanda de amplia disponibilidad de datos geográficos y al desarrollo de las técnicas que ofrece la Sociedad del Conocimiento,

definen un nuevo modelo de explotación de la información geográfica que permite reducir drásticamente los costes repercutibles individualmente.

También la **Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente** (BOE, 2006), que traspone e incorpora a nuestro Derecho las Directivas 2003/4/CE y 2003/35/CE, garantiza y protege el derecho de los ciudadanos a acceder a la información medioambiental. Siendo ésta una información georreferenciada, las bases cartográficas sobre las que se represente deben facilitar su acceso y explotación.

Asimismo, la **Directiva 2003/98/CE, de 17 de noviembre, sobre reutilización de la información del sector público** (Parlamento Europeo, 2003), incorporada a la normativa española mediante la Ley 37/2007, de 16 de noviembre (BOE, 2007a), reconoce la importancia que los contenidos digitales desempeñan en la evolución de la Sociedad de la Información y del Conocimiento, estableciendo un marco general de armonización a nivel comunitario que facilite la difusión generalizada de la información que generan las Administraciones Públicas, entre las que se encuentra la información geográfica.

Los trabajos de la iniciativa INSPIRE datan del principio de esta década, y su trayectoria hasta convertirse en Directiva comunitaria han sido suficientemente seguidos y conocidos por parte de las organizaciones del sector. Sin embargo, algunas administraciones públicas se han encontrado sorpresivamente ante la necesidad de adoptar rápidamente las medidas necesarias para poder cumplir con sus obligaciones legales en materia de geoinformación. Tal es el caso de la Comunidad Autónoma Canaria, la cual ha sido de las últimas comunidades españolas en tomar las medidas necesarias en este sentido, con el consiguiente retraso en materia de coordinación entre las diferentes instituciones públicas generadoras de geoinformación (Gobierno de Canarias, Cabildos y Ayuntamientos, fundamentalmente).

Por otro lado, y desafortunadamente, no parece que el legislador haya puesto especial interés en determinar cuáles debieran ser las consecuencias derivadas del incumplimiento de estas normativas relacionadas con la geoinformación.

En cuanto al marco legal e institucional en materia de cartografía e IDE en la Comunidad Autónoma de Canarias, es de destacar que éste no va más allá de lo legislado a nivel europeo y estatal, así como la inexistencia de un organismo que haga las veces de un verdadero instituto cartográfico, especialmente en lo que respecta a las funciones de asesoramiento y coordinación efectiva entre las diferentes Administraciones Públicas implicadas.

A continuación, pasaremos a describir algunos de los trabajos desarrollados desde SICAM con el objeto de situar al Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria en las mejores condiciones para dar un servicio público eficiente y de calidad en materia de geoinformación, y siguiendo siempre las obligaciones legales y responsabilidades públicas que le son propias.

ESTABLECIMIENTO DE UNA BASE CARTOGRÁFICA ÚNICA

El Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria, con motivo de la redacción del Plan General Municipal de Ordenación de Las Palmas de Gran Canaria (1998-2000), determinó la configuración de una Base Cartográfica del municipio en formato digital, como un único mapa continuo que permitiera desarrollar los trabajos de digitalización del Plan General a escala 1:1.000. Además, esta base cartográfica debía responder a un modelo territorial georreferenciado que permitiese ser gestionada mediante tecnología SIG.

Para conformar dicha Base Cartográfica se analizaron todas las fuentes cartográficas que disponía el Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria en aquel entonces (1997-1998): cartografía catastral a escala 1:1.000 (1991); cartografía de GRAFCAN S.A. (empresa pública de cartografía del Gobierno de Canarias) a escala 1:5.000 (1996), y cartografías de diferentes ámbitos, con diferentes formatos, procedencias, escalas y épocas. Ante esta variada y heterogénea casuística, nada alentadora y muy habitual en las administraciones locales, se plantearon varias cuestiones: la consideración de diversas fuentes y escalas, y sus correspondientes limitaciones de aptitud de uso; la inexistencia de una cartografía 1:1.000 actualizada para la totalidad del municipio, y finalmente la ausencia de un modelo de datos cartográfico orientado específicamente a la gestión territorial.

Como resultado de este análisis se decidió como más adecuado lo siguiente: en el ámbito urbano, utilizar la cartografía catastral, pero actualizando las zonas desfasadas mediante cartografía procedente de estudios y levantamientos particulares. En el ámbito rústico y urbanizable, emplear la cartografía de GRAFCAN. Los procedimientos de ajustes cartográficos llevados a cabo para la generación de esta Base Cartografía se realizaron a nivel de CAD.

En el año 2001, con el inicio del proyecto SICAM, se decidió establecer esta Base Cartográfica descrita como la oficial y única para todos los departamentos del Ayuntamiento. Sin embargo, y a medida que los distintos proyectos corporativos se iban consolidando sobre dicha Base Cartográfica, se nos planteaba la oportunidad y conveniencia de georreferenciar sobre ésta otras entidades espaciales definidas por las necesidades de otras administraciones y organizaciones que intercambian geoinformación con el consistorio. Estas entidades eran, entre otras: el límite administrativo municipal (Cabildo Insular); los deslindes del dominio público marítimo-terrestre (Dirección General de Costas del Ministerio de Fomento); carreteras (Consejería de Obras Públicas); espacios protegidos (Gobierno de Canarias, Cabildo); los deslindes del dominio público hidráulico (Consejo Insular de Aguas); parcelas catastrales (Dirección General del Catastro); ocupación del suelo (Ministerio de Fomento, Instituto Geográfico Nacional); redes de transportes, abastecimiento de agua, suministro eléctrico, voz y datos, saneamiento (Empresas de Servicios Públicos), etc.

Pero, ¿cuál era la base cartográfica de cada una de estas fuentes cartográficas?. Sin duda alguna, cada una de ellas utilizaba bases cartográficas diferentes, esto es, con diferentes escalas de precisión y aplicando diferentes modelos territoriales. Esto planteaba de entrada un gran problema para nuestros objetivos, ya que por más que se apostase por el uso compartido de la información espacial, ¿con qué garantías se puede analizar el territorio si se está integrando en una misma base de datos geoinformación basada en bases cartográficas distintas y definición de objetos y entidades espaciales diferentes?. Hasta ese momento, la preocupación por el intercambio de geoinformación era fundamentalmente tecnológica (compatibilidad entre los sistemas y formatos), pero solucionado este aspecto, se nos ponía de manifiesto que el problema en esos momentos no era únicamente tecnológico, sino que se trataba de un problema cuya solución pasaba por la necesidad de coordinación y colaboración entre todos los actores implicados para llegar a través del consenso a una solución óptima para todas las partes interesadas.

Ante esto, cuando SICAM apuesta por la conformación de una única Base Cartográfica, también debía responder a una pregunta: ¿Base Cartográfica única para el Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria, o Base Cartográfica única para el municipio de Las Palmas de Gran Canaria?. Sin duda alguna, lo deseable para todos sería disponer de esta última, pero... ¿de quién dependía esta decisión?. Habida cuenta de la inexistencia en Canarias de un organismo cartográfico que diese respuesta a las numerosas cuestiones técnicas que se presentaban (y que no cabe duda excedían de las competencias municipales), ¿cómo se podía llegar a los necesarios acuerdos y consensos?, ¿quién iba a liderar o coordinar el proceso?. Poner encima de la mesa todas estas reflexiones significó tener que afrontar por parte de las administraciones públicas y empresas involucradas en SICAM cuestiones competenciales, organizativas y tecnológicas no siempre “cómodas” a la hora de abordar.

No cabe duda de que trabajar por la creación de una única Base Cartográfica derivada de la interoperatividad entre sistemas constituye una meta en el que hay todavía mucho por hacer, y que ha de ser abordada desde la responsabilidad de las Administraciones Públicas, ya que sólo de este modo se podrá garantizar la gran deseada eficacia y eficiencia de los servicios públicos.

Es por todo ello que desde el principio SICAM trabaja con otras organizaciones (administraciones, empresas y colegios profesionales, fundamentalmente) para la consolidación de una única base cartográfica de todo el municipio. En una primera fase, todos los departamentos que lo deseaban utilizaban la Base Cartográfica de SICAM (la participación en SICAM es voluntaria, ya que el consistorio no ha establecido como obligatorio el uso de dicha base cartográfica). Actualmente, y desde el año 2007, existen ya varias entidades externas que han formalizado su voluntad de seguir participando en la creación de la IDE municipal, mediante la firma de convenios de colaboración con el Ayuntamiento. Estas organizaciones son la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, la Sociedad Estatal de Correos y las empresas de servicios Sagulpa, Guaguas Municipales, Global y Emalsa.

En virtud de estos acuerdos suscritos, estas organizaciones están georreferenciando los datos espaciales de su competencia y responsabilidad sobre la Base Cartográfica de SICAM y contribuyendo a formular las bases de

coordinación y funcionales necesarias para alcanzar los fines de SICAM. Sin embargo, para que este esfuerzo compartido reciba el respaldo e impulso institucional de manera definitiva, resulta imprescindible que el consistorio apueste formalmente por ello, implementando los procedimientos y protocolos que garanticen la actualización permanente de dicha base cartográfica.

INTEROPERATIVIDAD ENTRE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Las iniciativas legislativas anteriormente apuntadas en relación a la creación de IDEs por parte de las Administraciones Públicas ponen de manifiesto la imperiosa necesidad de garantizar la interoperatividad entre los sistemas de información espacial. En este sentido, se están implementando desde el punto de vista tecnológico interesantes desarrollos: servicios web (WMS, WFS), creación de metadatos, estándares de base de datos espaciales, catálogos de elementos, etc. Parece por tanto que el avance tecnológico está resultando cuánto menos alentador en la apuesta por el uso de las herramientas tecnológicas que están a nuestro alcance para compartir información entre sistemas diferentes, especialmente cuando se trata de dar un servicio público eficiente y de calidad.

Pero en relación a los indudables avances tecnológicos, ¿son estos suficientes para hablar de interoperatividad plena entre sistemas?. Las IDEs que están publicando datos espaciales con servicios web, ¿se pueden considerar interoperables simplemente por el hecho de publicar?. Los usuarios ya pueden realizar análisis territoriales combinando información geográfica procedente de varios sistemas de información, pero, ¿con qué limitaciones?, ¿qué sucede cuando integramos datos procedentes de modelos territoriales distintos entre sí?. La creación de metadatos, informan de la calidad de los datos, pero ¿se puede utilizar esta información aplicándola directamente en las relaciones entre los objetos espaciales, o se debe de tratar sólo como atributos informativos sobre la geoinformación?. ¿Deberían considerarse los metadatos como parte de un expediente administrativo acerca de la calidad de producción y actualización de los datos espaciales?. La forma en que se prescriben los metadatos desde las normas oficiales, ¿responde a estas cuestiones?. Y por último, ¿qué relevancia tiene la base cartográfica utilizada en cada uno de los sistemas a los que se accede a través de una IDE?.

Está claro, que los avances tecnológicos producidos en los últimos años han sido muy importantes, pero por sí solos no dan respuesta a estas cuestiones, y es el momento de que nuevamente todos los productores cartográficos se planteen la necesidad de dar soluciones coherentes a la necesaria interoperatividad entre sistemas.

Desde SICAM se garantiza la interoperatividad entre los sistemas de las organizaciones participantes siempre y cuando se respete el modelo de datos establecido.

INTEROPERATIVIDAD INSTITUCIONAL

La “interoperatividad institucional” es el proceso que asegura que los sistemas, procedimientos y cultura de una organización se gestionen de forma que se maximice las oportunidades de intercambio y reutilización de la información, tanto interna como externamente. Según esta definición, en una IDE, además de ser imprescindible la interoperatividad entre sistemas, se requieren cambios radicales en la forma en que las organizaciones trabajan, especialmente en sus actitudes hacia la información. En este contexto, la organización que desee ser interoperable necesita considerar las siguientes áreas: técnica, semántica, institucional, política/humana y legal (Red, 2004).

La interoperatividad institucional consiste en definir las reglas de compromiso entre dos o más organizaciones que necesitan compartir información. Incluso en una organización sencilla se necesita discutir y resolver los aspectos tales como la propiedad de los datos, el modelo de datos, la simbología común, la compartición de datos y las responsabilidades derivadas de todo ello. Para definir e implementar estándares para ello se requiere un enfoque colaborativo y un equipo multidisciplinar que incluya usuarios, profesionales de las tecnologías de la información, proveedores de tecnología, gestores y responsables ejecutivos. Este equipo debe de adoptar un enfoque de consenso para discutir y resolver los diferentes problemas y requerimientos que se vayan presentando. Deberá definir la visión de la interoperatividad y estándares para la organización, definir y documentar el

marco para la interoperatividad, definir y documentar los metadatos y comunicar claramente la visión a toda la organización (Morant, 2007).

Finalmente, una organización será verdaderamente interoperable cuando sea capaz de maximizar el valor de reutilización potencial de la geoinformación bajo su control, intercambiar su información de manera efectiva con otras organizaciones y generar nuevo conocimiento a partir de la identificación de relaciones entre conjuntos de datos que no estaban previamente interrelacionados. De esta forma, los beneficios para la organización y para aquellos que usan la información que publica son incalculables.

SICAM, además de intentar dar respuestas tecnológicas a las necesidades en materia de geoinformación, lleva trabajando algún tiempo para intentar dar soluciones a las carencias de interoperatividad institucional con las que se ha ido encontrando a lo largo de estos últimos años. Para ello, en su día se definió una metodología de trabajo y de cooperación basada en el consenso y compartida por todos los socios (participantes) de SICAM. Seguidamente se procedió a coordinar e integrar todos los proyectos territoriales en los que participaba el consistorio y que se desarrollaban sobre el municipio de Las Palmas de Gran Canaria, partiendo de las siguientes premisas:

- Todos los actores territoriales que lo deseen (servicios municipales u organizaciones externas) podrán participar en SICAM. La única condición para ello es la de aceptar los principios básicos de base cartográfica única e interoperatividad entre sistemas expuestos anteriormente.
- SICAM respeta las diferentes tecnologías usadas por los socios e integra todos los datos espaciales en una base de datos corporativa.
- SICAM coordina los procedimientos y flujos de información con el objeto de crear una cooperativa de datos espaciales como fórmula organizacional.
- SICAM elaborará un modelo de datos territorial corporativo en colaboración con todos sus socios, integrando las distintas disciplinas: cartografía, planeamiento, medio ambiente, redes de transporte, infraestructuras, seguridad, callejero, etc.
- SICAM integrará en el Geoportal de Las Palmas de Gran Canaria, toda la información territorial, para que ésta sea difundida y accesible a todos los usuarios. <http://geoportal.laspalmasgc.es> Ver imagen de la web en la Figura 1.

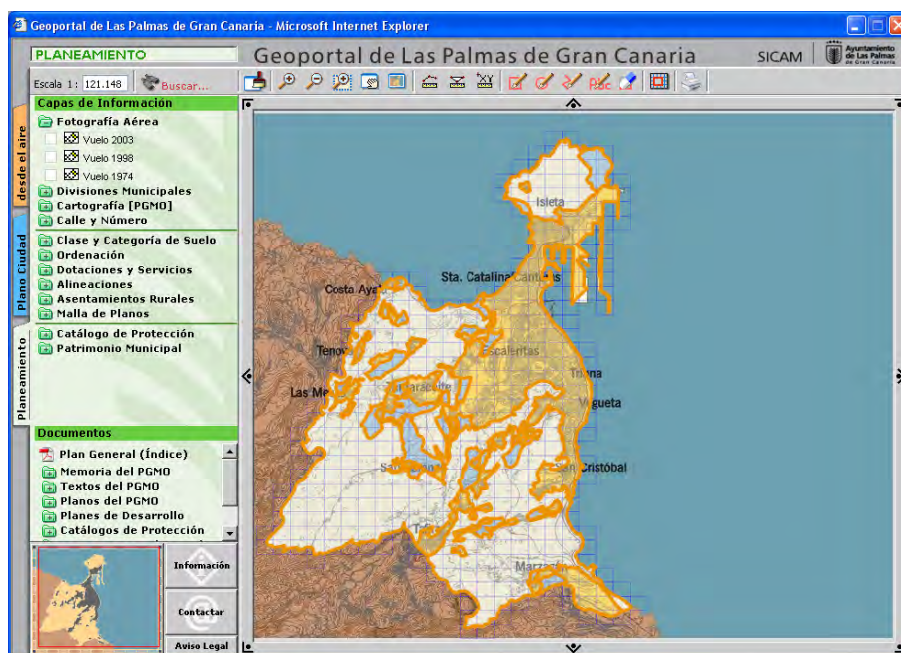


Figura 1. Captura de imagen del geoportal (<http://geoportal.laspalmasgc.es>).

EL MODELO DE IMPLEMENTACIÓN

En la Figura 2 se muestra un esquema que contiene los elementos fundamentales en el Modelo de Implementación de SICAM, así como las relaciones entre los mismos.

En SICAM se consideran cinco elementos básicos: los Actores, el Repositorio de Datos Espaciales, el Entorno de Trabajo Colaborativo, el Entorno de Difusión y la Coordinación del Proyecto.

- Los **Actores de SICAM** actualizan, consultan y analizan la geoinformación que se almacena en el Repositorio de Datos Espaciales. Se distinguen dos tipos de actores: los socios de SICAM, que actualizan la información de su propiedad y/o responsabilidad (zona departamental), y el resto de usuarios, que únicamente consulta la información (zona corporativa) a través del Entorno de Difusión.

- El **Repositorio de Datos Espaciales** está conformado por los datos departamentales y los datos corporativos. Los datos departamentales son aquéllos que aporta cada socio de SICAM. Estos datos se almacenan con diferentes formatos en la zona departamental del repositorio, ya que proceden del uso de distintas tecnologías. Los datos corporativos son los datos departamentales consolidados e integrados por la Coordinación en el modelo territorial diseñado, los cuales se almacenan en la zona corporativa del repositorio.

- El **Entorno de Trabajo Colaborativo** es el portal web de SICAM, de acceso restringido en la Intranet municipal. Mediante este entorno los socios de la Intranet acceden a un entorno de trabajo específicamente diseñado, que propicia la colaboración y el acceso a todos los productos de SICAM: Relación de Participantes, Catálogo de Elementos, Plan General de Ordenación, Ortofotos, Mediateca...

- El **Entorno de Difusión** constituido por el Geoportal de Las Palmas de Gran Canaria <http://geoportallaspalmasgc.es>. Es un aplicativo web basado en tecnología SIG, que permite consultar toda la geoinformación corporativa.

- La **Coordinación** es llevada a cabo por la Sección de Geosistemas, la cual además gestiona la base de datos corporativa, diseña e implementa el Entorno de Trabajo y el Entorno de Difusión y da la asistencia técnica y formación que le requieran los diferentes actores.

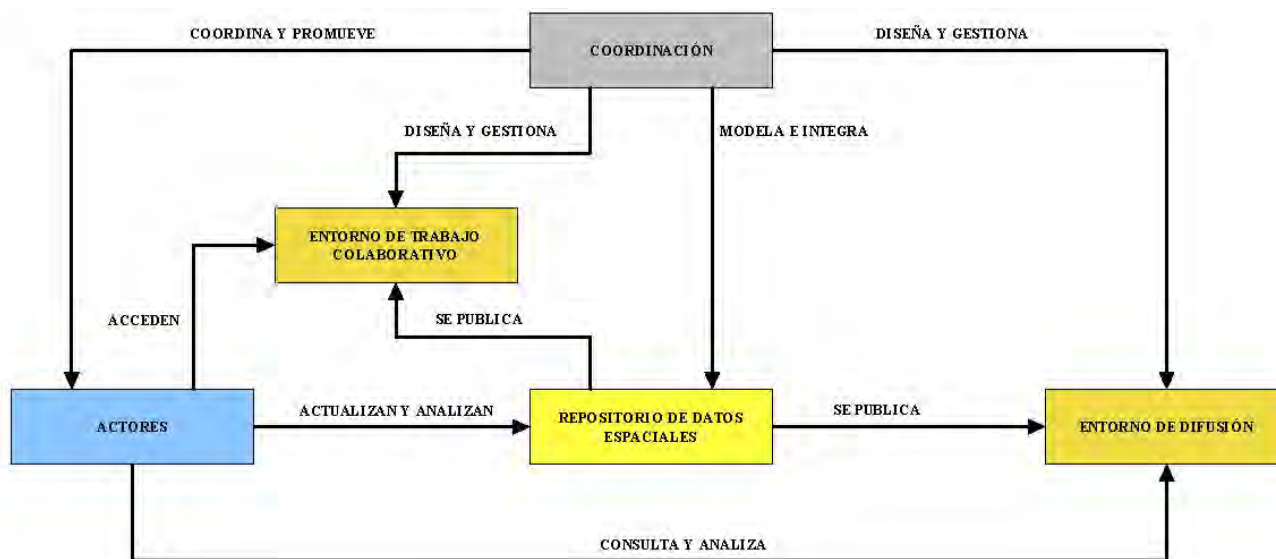


Figura 2. Elementos básicos de SICAM

En la Figura 3 (Modelo de implementación de SICAM), se muestra con más detalle el modelo de implementación y la problemática actual en torno a la integración de los datos departamentales en la zona corporativa. Todos los socios trabajan con la Base Cartográfica única, pero no todos disponen de la misma tecnología. Los

escasos recursos económicos y humanos, y los aspectos estratégicos, organizacionales y culturales ponen de manifiesto una realidad que desde el punto de vista tecnológico y organizativo no es óptima, y se traduce en que algunos socios trabajan con tecnología SIG, y otros aún trabajan con CAD y manejan sistemas gestores de bases de datos poco adecuados, como por ejemplo Access.

Asumiendo esta compleja realidad, en SICAM se trabaja para que la diversidad de tecnologías no sea un inconveniente, e intenta dar soluciones. Para ello, la Sección de Geosistemas, trabaja conjuntamente con los socios para que sus datos puedan ser finalmente integrados en la base de datos corporativa. De esta manera, se va diseñando un modelo territorial corporativo en el que cada socio trabaja sobre la misma Base Cartográfica.

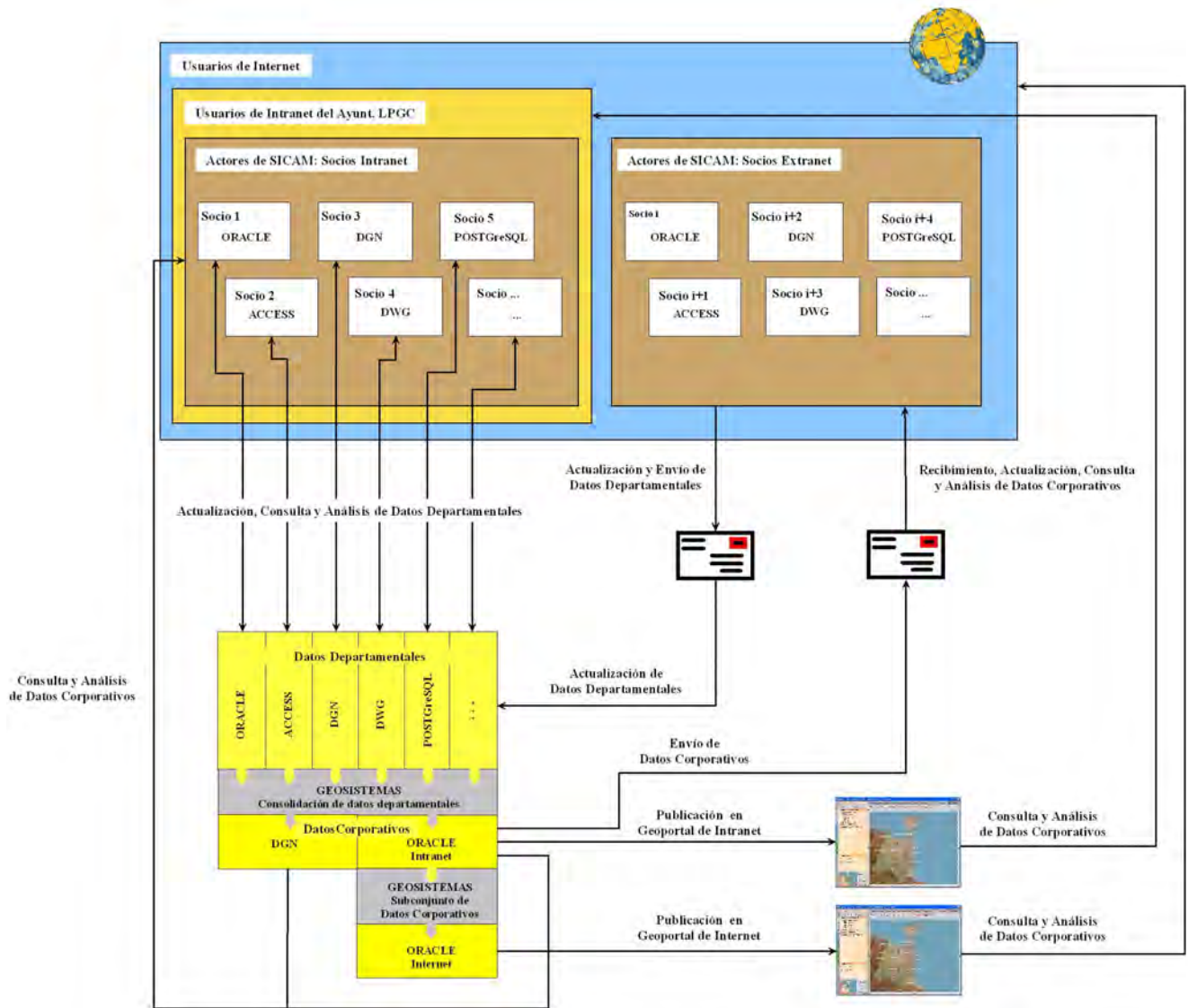


Figura 3. Modelo de Implementación de SICAM

La zona departamental se convierte pues en un gran repositorio de datos generado con distintas tecnologías, tal como hemos comentado, y se accede bien a través de la Intranet o bien a través de la extranet (mediante envíos de CD-rom o correos electrónicos).

Todos estos datos, una vez integrados en la base de datos corporativa se gestionan mediante el gestor de base de datos espacial Oracle. Además, para garantizar que aquellos socios que no trabajan con SIG puedan acceder a los datos corporativos, se realiza una copia periódica de ellos en formato CAD (dgn); de esta manera,

estos socios pueden consultar y gestionar información corporativa actualizada. Asimismo, todos los datos de la base de datos corporativa son publicados en la Intranet municipal, a través del Geoportal. Desde este aplicativo garantizamos que la totalidad de usuarios de la Intranet municipal, sean socios o no de SICAM, puedan acceder a la información geoespacial.

Todos los datos que están en la base de datos corporativa de la Intranet, y cuyos socios responsables autorizan que sean publicados en Internet, se exportan a la base de datos corporativa de Internet. El Geoportal de Internet, siendo el mismo aplicativo desarrollado para la Intranet, accede a su propia base de datos; es decir al subconjunto de datos corporativos que los socios consideran adecuado publicar. Sin embargo en estos momentos, aproximadamente el 95% de la geoinformación que se gestiona por SICAM, es accesible desde Internet, a través del Geoportal de Las Palmas de Gran Canaria.

La herramienta de Sistema de Información Geográfica que utiliza la sección de Geosistemas es Geomedia Profesional y el Servidor de Mapas, Geomedia Web Map. Es importante incidir que para SICAM lo más importante no es la herramienta SIG que cada socio utilice para gestionar los datos espaciales (cada socio utiliza la que considera más adecuada), sino el esfuerzo que se ha realizado para garantizar la accesibilidad, desde cualquier herramienta SIG, a todos los datos corporativos. El hecho de gestionar los datos espaciales con un gestor de base de datos espacial que cumple las normas OGC, como es Oracle, garantiza una total independencia en el uso de la herramienta SIG. Tal es así, que en estos momentos hay socios de SICAM que acceden a la base de datos corporativa desde varios aplicativos, tales como Geomedia, Arcview ó Gvsig.

La sección de Geosistemas continúa trabajando en el establecimiento de procedimientos que garanticen la metodología de implementación de SICAM. Para ello, se han diseñado modelos conceptuales y topológicos, se ha definido un catálogo de elementos estructurado, se han establecido protocolos de intercambio de información y actualización, y se está analizando nuevos procesos metodológicos para la creación de metadatos. En el caso concreto del *metadaje*, y con el fin de responder a necesidades específicas de actualización de información espacial, se ha comenzado a desarrollar un diseño a medida para metadatar los datos espaciales, asociando éstos a expedientes administrativos y a ocurrencias de tablas espaciales.

A modo de ejemplo de algunos de los trabajos que estamos realizando, se expone un esquema que corresponde al modelo conceptual de la Ordenación Estructural en Suelo Urbano, y que en estos momentos se está llevando a cabo como metodología, en la redacción de la Adaptación Plena de Plan General de Ordenación. Ver Figura 4.

Los modelos conceptuales representan la organización conceptual de las entidades geográficas y las dependencias espaciales existentes entre las mismas. El diseño de estos esquemas está resultando muy interesante como metodología de trabajo, ya que permite que todos los técnicos de diferentes disciplinas (geógrafos, ingenieros, informáticos, arquitectos, topógrafos, delineantes...) conozcan y compartan el concepto del modelo territorial que se está diseñando, y las relaciones espaciales que se deben definir y que se gestionan a través del Sistema de Información Geográfica. A partir del modelo conceptual se diseña el modelo Entidad-Relación del Sistema de Información y se define el Catálogo de Elementos.

Por último, apuntar que la metodología de trabajo establecida por SICAM parte del hecho de que está abordando la interoperatividad de los distintos sistemas de información, sin contar aún con la posibilidad de ofrecer servicios web. Consideramos que la utilización de estos servicios constituirá una segunda fase en el diseño de la IDE municipal.

LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS

A continuación apuntaremos algunas líneas de trabajo futuras para seguir avanzando en los diferentes proyectos multitemáticos e interdisciplinarios que se están impulsando desde SICAM y que están constituyendo la base metodológica, conceptual y técnica para el desarrollo de la IDE del municipio de Las Palmas de Gran Canaria.

En estos momentos SICAM está trabajando en varios aspectos fundamentales: continuar con los proyectos de modelado de datos; ampliar y consolidar el Repositorio de Datos Espaciales; proponer al consistorio que

adopte medidas formales, de procedimientos y de impulso, necesarias para que la creación de la IDE SICAM, de manera que se respalde la iniciativa a nivel estratégico.

A nivel de concreción de todo ello, nuestro propósito actual aborda los siguientes hitos:

- La creación del portal web de la IDE SICAM.
- La publicación gratuita de toda la geoinformación del municipio.
- El desarrollo de servicios web (WMS y WFS).
- El desarrollo de planes de formación y capacitación: colaboración con la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- La aprobación de diferentes ordenanzas municipales para la formación, mantenimiento y actualización cartográfica.
- El fomento de la adhesión de nuevos socios para SICAM.
- Estudiar y evaluar la utilización de herramientas desarrolladas en software libre

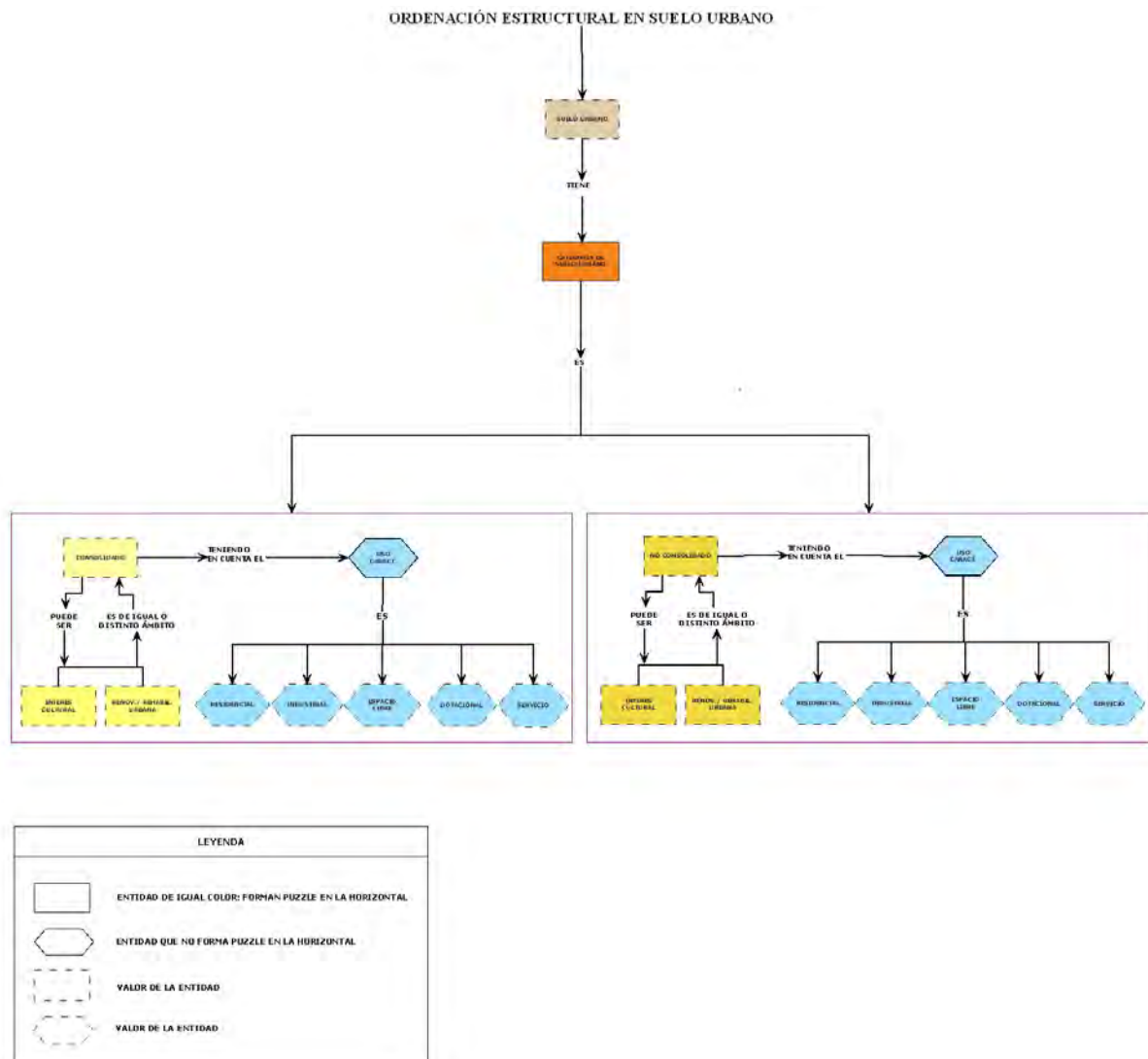


Figura 4. Esquema del Modelo Conceptual de la Ordenación Estructural de PGO, en Suelo Urbano.

CONCLUSIONES

La materialización legal en cuestiones relativas a la geoinformación y las IDEs pone de manifiesto la gran importancia que tienen los aspectos relacionados con la accesibilidad, uso y difusión de la geoinformación en la mejora de la toma de decisiones a todos los niveles, la construcción de la Sociedad de la Información y la generación de conocimiento y riqueza en general. De manera particular, y en el ámbito de las Administraciones Locales, la importancia de la geoinformación, y de los aspectos análisis y gestión territorial, cobra especial relevancia a la hora de querer implantar una administración electrónica que responda a las necesidades de los administrados y que se convierta en un verdadero servicio público. En este sentido, no cabe duda de la importancia que revisten todas las iniciativas que tengan como fin alcanzar un horizonte en el que las IDEs locales estén integradas plenamente en la administración electrónica. Esta ha sido desde el principio la finalidad última que originó el proyecto SICAM, siendo los resultados obtenidos muy satisfactorios.

Sin embargo, la situación institucional en la que se ha venido desarrollando SICAM no ha sido óptima: la inexistencia en la Comunidad Canaria de un organismo que haga las funciones de un instituto cartográfico, la ausencia de convenios de cooperación efectivos entre las distintas Administraciones Públicas, la falta de un verdadero impulso institucional materializado en un organigrama y unos presupuestos *ad hoc*, la dificultad para implantar una metodología de trabajo colaborativo en todos y cada uno de los departamentos municipales, la carencia de planes de formación serios hacia todos los sectores en materia de geoinformación, y la ausencia de una visión estratégica de los SIG en el consistorio, son algunas de las barreras de tipo institucional, organizacional y cultural que hacen que SICAM se haya tenido que desarrollar gracias al espíritu de colaboración y voluntarismo que han demostrado a lo largo de los últimos años todos sus socios.

Es evidente que aún queda mucho por hacer para que este proyecto llegue a convertirse en una verdadera IDE local del municipio de Las Palmas de Gran Canaria, pero creemos que en una IDE impulsada desde un Administración pública, la resolución de éstas y otras muchas cuestiones es indispensable, tanto para el desarrollo de la IDE, como para el impulso de los procesos de adecuación y mejora de la Administración, y es por estas razones por las que en SICAM se sigue apostando y trabajando.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOE (2006): Ley 27/2006, de 18 de julio, *por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente*. Jefatura del Estado de España. http://www.boe.es/g/es/bases_datos/doc.php?coleccion=iberlex&id=2006/13010.

BOE (2007a): Ley 37/2007, de 16 de noviembre, *sobre reutilización de la información del sector público*. Jefatura del Estado de España. http://www.boe.es/g/es/bases_datos/doc.php?coleccion=iberlex&id=2007/19814

BOE (2007b): Real Decreto 1545/2007, de 23 de noviembre, *por el que se regula el Sistema Cartográfico Nacional*. Jefatura del Estado de España. <http://boe.es/boe/dias/2007/11/30/pdfs/A49215-49229.pdf>

BOE (2008): ORDEN FOM/956/2008, de 31 de marzo, del Ministerio de Fomento *por la que se aprueba la política de difusión pública de la información geográfica generada por la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional*. Jefatura del Estado de España http://www.boe.es/g/es/bases_datos/doc.php?coleccion=indilex&id=2008/06229&txtlen=1000

Carretero, I. (2002a): La tecnología SIG como respuesta a los nuevos retos de las administraciones locales: experiencias del Ayuntamiento de las Palmas de Gran Canaria. *X Congreso Nacional de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*. Valladolid. http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/doc2_2.pdf

Carretero, I. (2002b): Publicación Digital del Plan General Municipal de Ordenación de Las Palmas de Gran Canaria. *Mapping*, 79: 6-22.

http://www.mappinginteractivo.com/plantilla.asp?Id_articulo=164&titulo=&autor=carretero&contenido=&tipo=avanzado

Cerpa, J.M. y Carretero, I. (2000): *El Plan General de Las Palmas de Gran Canaria y su Sistema de Información Geográfica. Estudios Territoriales*, 124: 279-289.

Cerpa, J.M., Carretero, I. y Morant, T. (2006): Contribuciones de las infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) en las tareas de planeamiento urbanístico. *IV Congreso Nacional de Urbanismo*. Las Palmas de Gran Canaria.

Comisión Europea (2008): *INSPIRE Geoportail, the EU portal for Geographic Information*. <http://www.inspire-geoportail.eu/>

IDEE (2008): *Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE)*. Consejo Superior Geográfico. Ministerio de Fomento. Gobierno de España. http://www.idee.es/show.do?to=pideep_pidee.ES

INSPIRE (2008): Iniciativa INSPIRE. <http://inspire.jrc.it/>

Martín, M., Carretero, I. Morant, T. y Martín, A. (2007): La ULPGC y el Servicio de Planeamiento del Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria: colaboración y sinergias en el ámbito de la Geomática. *I Jornadas Sistemas de Información Geográfica y Administración Local*. SIG Breña Alta, La Palma (S/C de Tenerife). http://www.siglapalma.es/pdf/ponencias/resumenes/MOISES_ULPGC.pdf

Morant, T. (2007): *Bases para el establecimiento de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) como catalizadora del cambio organizacional en una Administración Local: aplicación en el ámbito del Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria*. Excmo. Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria.

Parlamento Europeo (2007): *Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad (INSPIRE)*. Diario Oficial de la Comunidad Europea (DOCE), de 14 de marzo de 2007.

<http://eur-lex.europa.eu/JOHtml.do?uri=OJ:L:2007:108:SOM:ES:HTML>.

Parlamento Europeo (2003): *Directiva 2003/98/CE, de 17 de noviembre, sobre reutilización de la información del sector público*. Parlamento Europeo y Consejo. Diario Oficial de la Unión Europea (DOCE), de 31 de diciembre de 2003.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:345:0090:0096:ES:PDF>

Reed, C. (2004): Integrating Geospatial Standards and Standards Strategies Into Business Process. *Open GIS Consortium (OGC) White Paper*. Open Geospatial Consortium.

<http://www.opengeospatial.org/pressroom/papers>

Guerra García, J. Asterio; Vilela Gómez, Eduardo J.; Ruiz Zaya, Abián; Fajardo Bello, Moises A.; Martín Suárez, Rosa y González Hernández, Antonio D. (2008): Implantación de un SIG para el seguimiento de la plaga *Rhynchophorus Ferrugineus* olivier o “picudo rojo de las palmeras” en las Islas Canarias. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial (Jornadas Técnicas)*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 903-910. ISBN: 978-84-96971-53-0.

IMPLANTACIÓN DE UN SIG PARA EL SEGUIMIENTO DE LA PLAGA *Rhynchophorus Ferrugineus* OLIVIER O “PICUDO ROJO DE LAS PALMERAS” EN LAS ISLAS CANARIAS

Guerra García, J. Asterio¹; Vilela Gómez, Eduardo J.¹; Ruiz Zaya, Abián¹; Fajardo Bello, Moises A.¹; Martín Suárez, Rosa² y González Hernández, Antonio D.²

(1) Gestión del Medio Rural de Canarias, C/ 903, 2. Planta C. Polígono Industrial El Mayorazgo. 38110. Santa Cruz de Tenerife. joseagg@gmrcanarias.com

(2) Dirección General de Agricultura. Gobierno de Canarias. Avd. José M. Guimerá, 10. Edf. Usos Múltiples II, 3ª planta. 38001. Santa Cruz de Tenerife

RESUMEN

Como apoyo al Plan de Control y Erradicación del Picudo Rojo en las Islas Canarias llevado a cabo por la Dirección General de Agricultura del Gobierno de Canarias, se ha realizado la implantación de un SIG, para colaborar en el análisis geográfico de la información, coordinar las actuaciones y seguimientos, sistematizar las inspecciones de campo, optimizar los recursos, etc.

La recogida de datos en campo se realiza a través de PDAs. En ellas se ha instalado una aplicación con una serie de formularios para la introducción de la información (palmeras censadas, control de trampas, palmeras afectadas y sus localizaciones). Semanalmente, estos datos se envían desde las PDAs a una geodatabase vía Internet (mediante GPRS). Esta geodatabase se encuentra en un sistema Gestor de Base de Datos SQL Server que permite el almacenamiento físico de la distinta información georreferenciada.

Para la implantación del SIG se ha utilizado tecnología ESRI, de esta manera la información geográfica está gestionada por ArcSDE 9.2 sobre SQL Server, a partir de la cual se crea el proyecto donde se representan los distintos datos geográficos, con el uso de ArcGIS 9.2.

Por otro lado, esta geoinformación se sirve vía Internet con la ayuda de ArcGIS Server 9.2, creándose de esta manera un visor Web donde se representa toda la información recogida en este seguimiento, sobre la cual se pueden hacer diferentes consultas, para una mejor toma de decisiones y futuras actuaciones por parte de los técnicos.

Palabras Clave: SIG, Rhynchophorus ferrugineus, Picudo Rojo, Palmeras, Islas Canarias.

ABSTRACT

The General Direction of Agriculture of the Canary Islands, have been developed the Control and Eradication Regional Planning of the “Red Palm Weevil” based on Geographical Information Systems (GIS). This methodology help to overcome the problem of the plague: in the analysis of the geographical information, coordination of actions to been taken, follow-up measures and inspection procedures, optimization of resources, etc.

Data Collection of the designed parameters (palm trees registered and infected, traps, locations...) is done across a specific application installed in PDAs. And the report is done through GPRS systems to a geodatabase, located at a SQL Server Data Base, which have a high capacity of storage.

Running the SIG system and using the ESRI technology, the geographical information handled with ArcSDE 9.2 in SQL Server, which could be used to develop its representation and share it online creating a Web Visor on which it could possible made queries that helps decision-making when measures for improvement were being undertaken.

Keywords: GIS, Rhynchophorus ferrugineus, Red Palm Weevil, Palm Trees, Canary Island.

ANTECEDENTES

El Picudo rojo, *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier, es actualmente uno de los insectos más dañinos para las palmeras a escala mundial, provocando por lo general, daños irreversibles en los ejemplares afectados.

Es originario de las regiones tropicales del Sureste Asiático y Polinesia, comenzando su expansión hace 25 años atacando a palmeras datileras de los países del sur de Asia, Península Arábiga e Irán (Barranco et al., 1996ab). Fue introducido en el norte de África a través de Egipto en el año 1993 continuando su expansión hacia los países europeos, Italia, Francia, Portugal y España, siempre ligado a la importación de palmeras.

En Canarias esta plaga apareció por primera vez en septiembre de 2005 en la isla de Gran Canaria, detectándose posteriormente en las islas de Fuerteventura y Tenerife.

Los daños producidos por este insecto tienen lugar durante su alimentación en la fase de larva y adulto, haciéndose visible estos daños demasiado tarde en los ejemplares afectados y ocasionando, en el peor de los casos, la muerte de la palmera (Gobierno de Canarias, 2007).

En la actualidad la Dirección General de Agricultura del Gobierno de Canarias ha encomendado a la empresa pública Gestión del Medio Rural de Canarias SAU, el Plan de Control y Erradicación del Picudo Rojo en Canarias. Entre las medidas tomadas por la empresa para el adecuado seguimiento de la plaga destaca la implantación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) que actúa como herramienta en la toma de decisiones y futuras actuaciones por parte de los técnicos responsables de la encomienda.

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio del presente trabajo se sitúa en las áreas urbanas que se encuentran influenciadas por la aparición del picudo rojo. En la siguiente figura se representan las zonas afectadas por la plaga, en las cuales se está llevando a cabo su seguimiento.

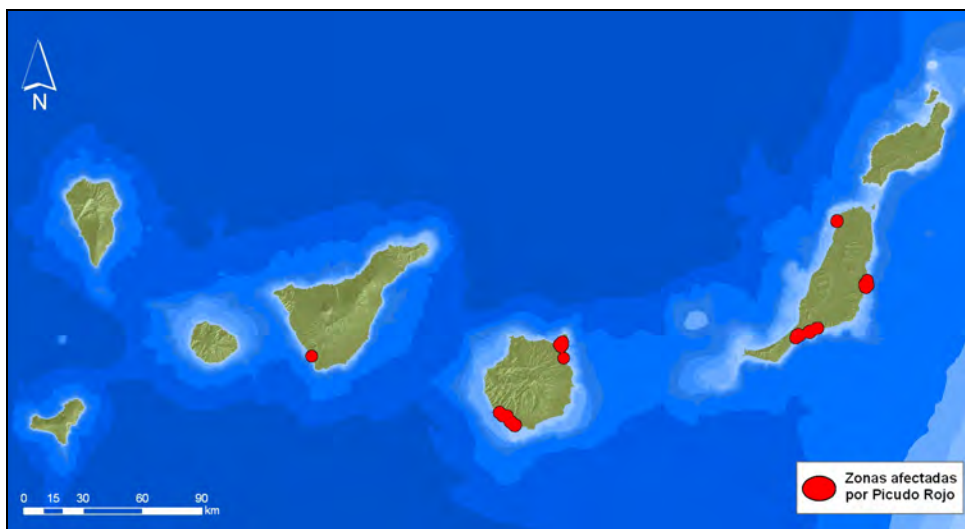


Figura 1. Mapa de las zonas de estudio.

En la actualidad, los focos, donde se está realizando el seguimiento de este insecto, se distribuyen en las siguientes zonas de las islas de Gran Canaria, Fuerteventura y Tenerife.

En la isla de Gran Canaria:

- Municipio de Las Palmas de Gran Canaria: Las Palmas Norte y Las Palmas Sur.
- Municipio de Mogán: Anfi del Mar, Tauro, Taurito, Playa del Cura, Barranco de Medio Almud y Barranco Los Frailes.

- Municipio de San Bartolomé de Tirajana: El Pajar.

En la isla de Fuerteventura:

- Municipio de Tuineje: Tarajalejo.
- Municipio de Pájara: Costa Calma y La Lajita.
- Municipio de Antigua: Caleta de Fuste.
- Municipio de La Oliva: El Cotillo.

En la isla de Tenerife:

- Municipio de Arona: Arona.

METODOLOGÍA

Entre los pasos seguidos en la implantación del sistema de información para el seguimiento de esta plaga de las palmeras, cabe destacar, la creación de una base de datos central, el desarrollo de una aplicación móvil para la recogida de los datos en campo, la importación de estos datos a la base de datos central, la instauración de una aplicación Web capaz de generar informes de manera automatizada y por último, la implantación de un visor Web capaz mostrar la información almacenada en la base de datos y susceptible a ser representada en el espacio.

Creación de una Base de Datos para almacenar la información

El principal objetivo de la Base de Datos es almacenar de manera centralizada toda la información referente a la localización, censado, eliminaciones, estado y tratamientos fitosanitarios de las palmeras, así como el censado y control de las trampas distribuidas en las zonas afectadas por la plaga.

Todas las aplicaciones desarrolladas interactuarán con la Base de Datos, ya sea para introducir nuevos valores (recogidos en campo con las PDA) o para el tratamiento de la información (generación automatizada de informes, elaboración de mapas personalizados, etc.)

El servidor de Base de Datos elegido ha sido el SQL-Server de Microsoft. Se ha optado por este producto por su rapidez en el tratamiento de datos, su fiabilidad, seguridad, alto rendimiento y versatilidad.

En la siguiente figura se muestra el diagrama entidad/relación con las diferentes tablas que forman la base de datos y las relaciones entre ellas.

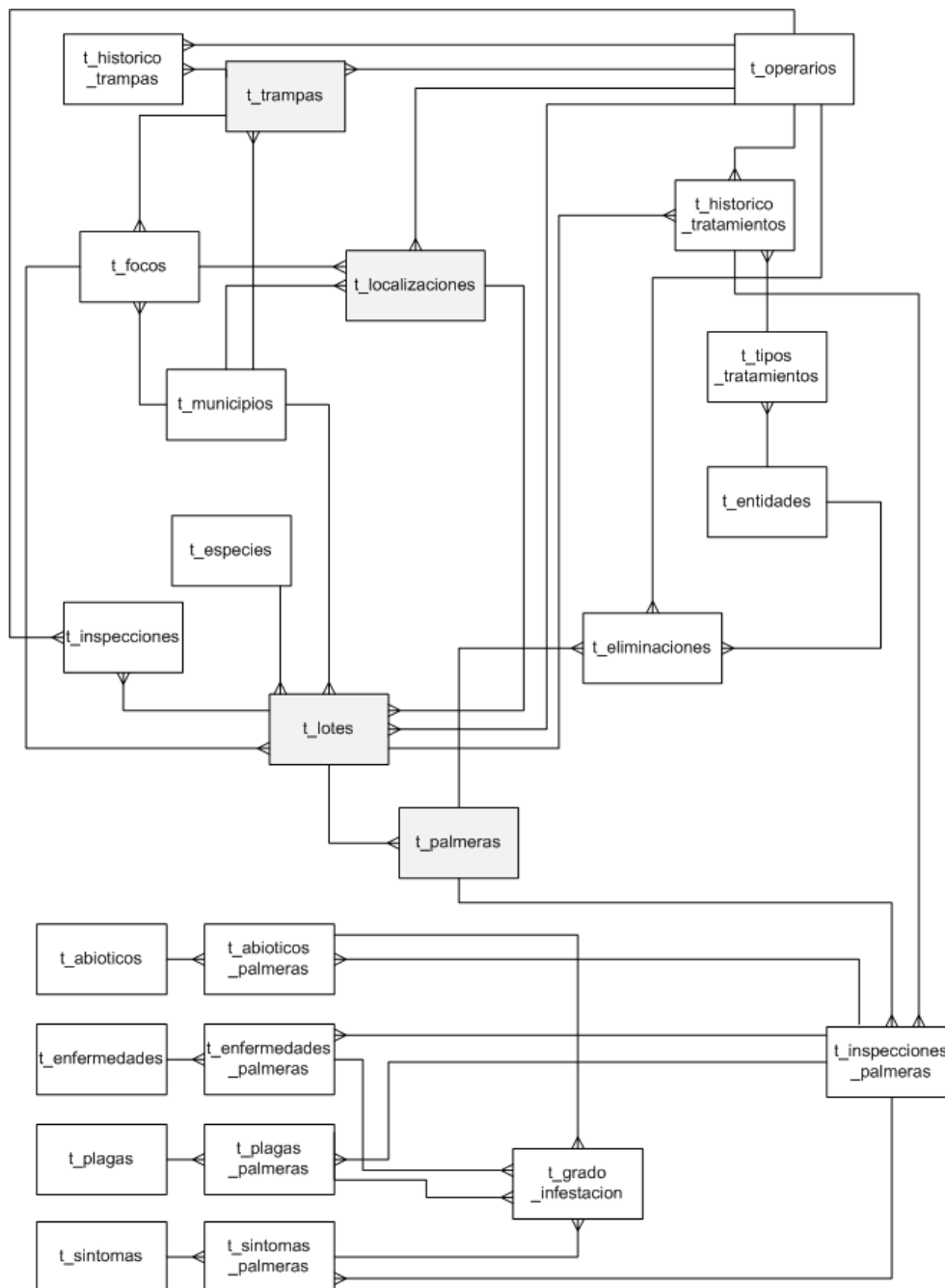


Figura 2. Diagrama entidad/relación de la Base de Datos.

Aplicación PDA para la recogida de datos en campo

Se ha desarrollado una aplicación móvil para la recogida de datos en campo. La tecnología utilizada para el desarrollo de esta aplicación se especifica a continuación:

- PDA's DELL Axim v51.
- Aplicación desarrollada sobre Visual Studio.
- Base de Datos Ultralite.

En la siguiente figura se presenta de manera esquemática las pantallas que integran la aplicación PDA.

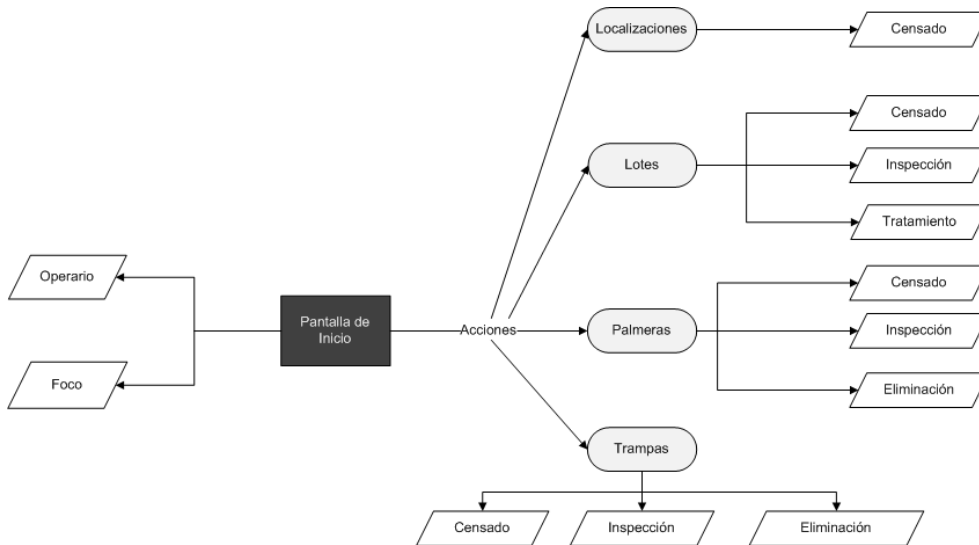


Figura 3. Esquema de la aplicación PDA

Importación de datos desde las PDA a la Base de Datos a través de Internet

Al final de cada semana, los jefes de equipo de cada una de las islas envían los datos recogidos con las PDA a través de internet. Estos datos quedan almacenados en un servidor Web. Posteriormente, a través de un proceso automatizado esos datos se importan a la Base de Datos central del proyecto. De esta manera conseguimos tener la información actualizada al final de cada semana.

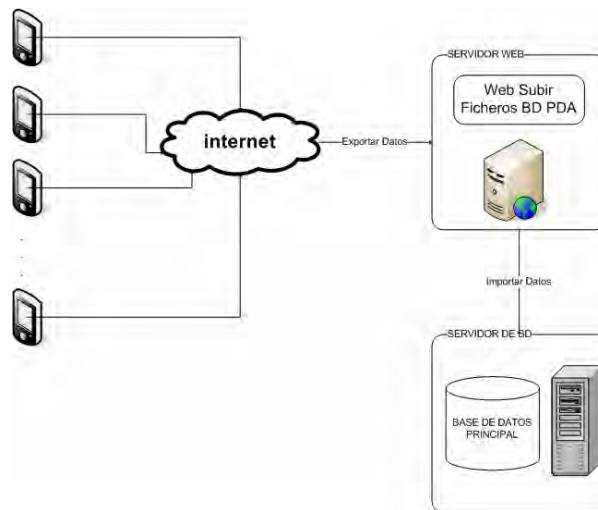


Figura 4. Esquema de envío de datos vía internet.

Generación automatizada de informes

Para realizar un seguimiento del Plan de Control y Erradicación de la plaga, todas las semanas se redacta un informe con los datos de las actuaciones semanales sobre los focos (inspecciones, censados, tratamientos, eliminaciones, etc.).

Con motivo de agilizar la realización de dichos informes se creó una aplicación Web en la que, introduciendo el rango de fechas o un número de semana, genera una plantilla con los datos del intervalo indicado (capturas, inspecciones, tratamientos, etc.). En la siguiente figura se observa un detalle de la aplicación Web creada para la generación de estos informes.

Figura 5. Detalle de aplicación generadora de informes.

Presentación de la información georreferenciada

Para mejorar el acceso a la información espacial, y con la ayuda de distintas herramientas SIG (ArGIS 9.2, ArcSDE sobre SQL Server y ArcGIS Server), se ha elaborado un visor Web, en el cual además de los datos almacenados en la Base de datos y susceptibles a ser representados en el espacio (localizaciones, lotes, palmeras, trampas), se pueden representar diferentes consultas que se han considerado necesarias para la toma de decisiones. Algunas de estas consultas se muestran a continuación:

- Palmeras eliminadas por rangos de fechas.
- Trampas en función del número de capturas que hayan obtenido.
- Trampas con capturas en un rango de fechas determinado.
- Lotes en función de las especies de palmeras.
- Lotes en función de los tratamientos realizados en un rango de fechas determinado.
- Lotes en función de que presenten alguna palmera infestada o sospechosa de infección.
- Lotes en función de la altura de los ejemplares.

Estas tareas son susceptibles a ser completadas con otro tipo de consultas que se consideren adecuadas para colaborar en la toma de decisiones.

Por otro lado comentar, que a partir de estos datos, se pueden generar nuevas capas de información, que complementan la información anterior. Un ejemplo de esto son la capas que representan el área ocupada por palmeras infestadas en cada foco y el área ocupada por trampas en activo en un determinado rango de fechas, las cuales se generan a partir de los datos puntuales de palmeras infestadas y trampas en activo, respectivamente.

RESULTADOS

La utilización de la aplicación PDA, para la recogida de datos en el campo, facilita la recopilación de la información, ayuda a mantener la información actualizada en todo momento, mediante la sincronización con la Base de Datos central, además de agilizar la generación de informes para la posterior toma de decisiones.

La información espacial generada durante el trabajo de campo se representa en un visor Web, creado a partir de la plataforma ArcGIS Server (ESRI, 2004 y 2007) capaz de gestionar, visualizar y analizar información geográfica de manera centralizada. A continuación se muestra el aspecto general que presenta el visor Web, el cual ha sido personalizado a las necesidades previamente establecidas por los técnicos.

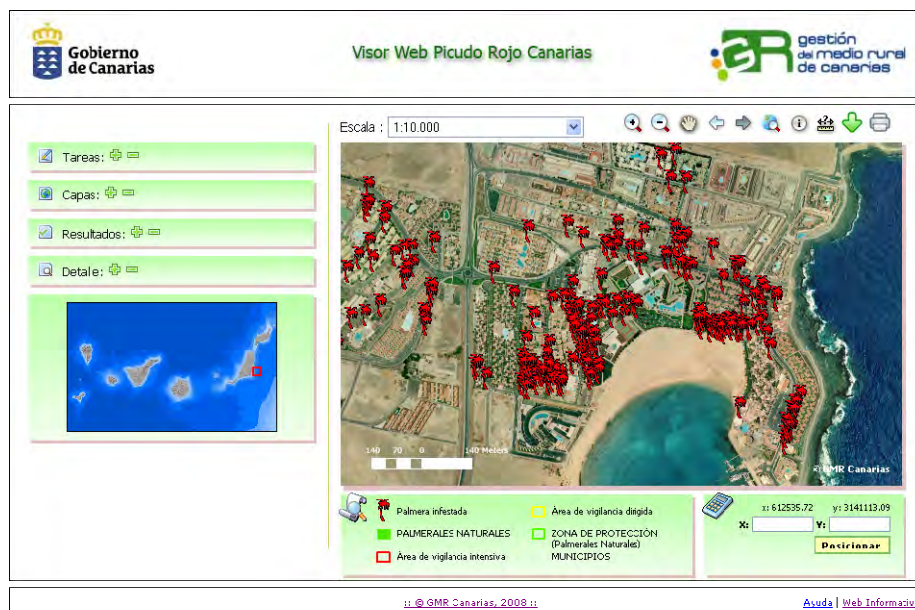


Figura 6. Detalle del Visor Web del Picudo Rojo.

Entre los procesos de personalización que se ha llevado a cabo, cabe destacar, la creación de tareas de búsqueda personalizadas, las leyendas dinámicas, un buscador de coordenadas, la exportación de los mapas en diferentes formatos y la impresión de mapas en plantillas personalizadas.

En cuanto a los informes automatizados, éstos pueden ser generados por rangos de fechas o por número de semana y año, lo que facilita en gran medida la manipulación de los datos para estudios estadísticos, preparación de memorias etc.

CONCLUSIONES

Con la implantación de este sistema de información, se tiene la posibilidad de gestionar, visualizar y analizar toda la geoinformación recogida por los técnicos en el campo.

Por otro lado, la utilización de esta potente herramienta actúa de apoyo a la hora de tomar decisiones y futuras actuaciones por parte de los técnicos en el Plan de Control y Erradicación de esta plaga, pudiéndose determinar por ejemplo, los lotes prioritarios a tratar, la distribución de la plaga, las zonas más afectadas por la plaga dentro de cada foco de infección, las zonas de palmerales naturales más amenazados por la cercanía de la plaga, la frecuencia de captura de las trampas en activo, etc.

Por último, comentar que la implantación de este sistema de información se encuentra aún en pleno desarrollo y es susceptible a la introducción de mejoras que faciliten el seguimiento del insecto.

AGRADECIMIENTOS

Dirección General de Agricultura del Gobierno de Canarias y Gestión del Medio Rural de Canarias SAU.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barranco, P., De La Peña, J. y Cabello, T. (1996 a): Un nuevo curculiónido para la fauna europea. *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) (Coleoptera, Curculionidae). *Boln. Asoc. Esp. Ent.*, 20 (1-2): 257-258.

Barranco, P., De La Peña, J. y Cabello, T. (1996b): El picudo rojo de las palmeras, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier), nueva plaga en Europa. (Coleoptera, Curculionidae). *PHYTOMA-España*, 76: 36-40.

ESRI (2004): ArcGIS 9. *ArcGIS Server Administrator and Developer Guide*. Esri Press Ed., 739 pp.

ESRI (2007): Developing Applications with ArcGIS Server Using the Java Platform. *Manuales de formación*: <http://www.esri.com>.

Gobierno de Canarias (2007): El Picudo Rojo, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliver. *Dossier Informativo*, 126 pp.: <http://www.picudorojocanarias.es>.

Herrera Azorín, T. de la Puente Fernández, F. y Suárez González, F. (2008): Aeroláser. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial (Jornadas Técnicas)*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 911-926. ISBN: 978-84-96971-53-0.

AEROLÁSER

Herrera Azorín, T. ; de la Puente Fernández, F. y Suárez González, F.

Estudio ITAC S.L. Avda. Mesa y López 45, Local 4. direccion@estudioitac.com, coordinacion@estudioitac.com, desarrollo@estudioitac.com

RESUMEN

AEROLASER nace en Estudio ITAC como proyecto I+D+I y es cofinanciado por el Gobierno de Canarias a través de la Consejería de Empleo Industria y Comercio. El objetivo del sistema AEROLASER es crear un prototipo integrado para la captura de datos cartográficos aéreos de muy alta resolución.

En la actualidad existe una gran demanda de datos obtenidos con tecnologías LIDAR. Estas suponen una inversión considerable, no existiendo en el mercado nacional desarrollos de integración basados en estos sistemas y muy escasos en el resto de Europa.

Se parte para el desarrollo del prototipo con las siguientes premisas: costes reducidos, sistema transportable ligero y altas prestaciones en resolución. En la integración del sistema AEROLASER participan los componentes siguientes: ESCÁNER LÁSER, CÁMARA DIGITAL, CÁMARA TÉRMICA, SENSOR DE MOVIMIENTO y GPS. En el prototipo se hace necesario el desarrollo de hardware (unidad de estampamiento de tiempos UET, fuente de control y distribución FCD, plataforma integradora) y software (Aerolaser 1.0),

Este sistema se monta sobre un avión o helicóptero que pueden ser de pequeño tamaño, reduciendo así los costes de operación aeronáuticos.

El sistema se puede utilizar en trabajos diversos: carreteras, líneas eléctricas, levantamientos urbanos y rústicos, etc. Se describe todo el proceso productivo: toma de datos, tratamiento y resultados, así como cuadros comparativos de las resoluciones obtenidas con otras técnicas y describiendo su empleo en la diversidad de tipologías de proyectos.

Palabras Clave: lidar, imu, gps, cámara digital, cámara térmica.

ABSTRACT

AEROLASER was born in Estudio ITAC as R & D project and it is co-financed by the Government of the Canary Islands through the Ministry of Employment, Industry and Trade. The system AEROLASER goal is to create an integrated prototype for aerial very high resolution data capture.

At present there is a huge demand for lidar technology data. These technologies represent a considerable investment, not existing integration developments in the domestic market based on these, and very scarce in the rest of Europe.

The premises for the prototype developing are: Reduced costs, lightweight transportable system and high resolutions. The integration of AEROLASER system involves the following components: laser scanner, digital camera, thermal camera, inertial sensor and GPS. The prototype becomes necessary the development of complementary devices: Time stamp unit (UET, Unidad Estampadora de Tiempos), power supply and control unit (UPC, Unidad de Potencia y Control), inclusive platform and specific software for navigation and control during flight (Aerolaser 1.0).

This system is mounted on a small airplane or helicopter, thus reducing operating aeronautical costs.

The system can be used in various projects: roads, power lines, rustic and urban cartography, etc.. The entire production process is described: data acquisition, data processing and results, as well as comparative tables of the resolutions obtained with other techniques and describing their use at the diversity of projects types.

Key Words: lidar, imu, gps, digital camera, thermal camera.

INTRODUCCIÓN

AEROLASER es un proyecto cuya finalidad es la obtención, mediante un sensor de barrido láser, una cámara digital y una cámara térmica, de un modelo digital del terreno, una ortofoto y una imagen térmica georreferenciada. El MDT y la ortofoto serán de alta resolución y el tiempo de procesado se prevé entre 5 y 7 días.

El sistema a desarrollar se compone de los siguientes elementos:

Tabla 1. Componentes de AEROLASER

Equipo	Marca y modelo	Finalidad
Escáner láser	RIEGL LMS-Q240i-60	Obtención de MDT alta resolución
Sensor Movimiento IMU	iMAR iIMU-FSAS-SI	Medida de giros y aceleraciones en los tres ejes de coordenadas
Cámara fotográfica digital	Hasselblad H3D	Fotografía aérea de alta resolución
Banco de imágenes	Hasselblad Image-Bank-II	Alta capacidad de almacenamiento
Cámara térmica	NEC TH 9260	Imagen térmica de alta resolución
GPS	Leica 1200 (GX1230)	Posicionamiento geográfico preciso en modo diferencial
Unidad estampadora	Prototipo UET	Añadir tiempo GPS a observaciones IMU. Control del disparo de la cámara
Unidad de control y alimentación	Prototipo UPC	Duplicador PPS y alimentación de equipos cc
PC portátil y programas	DELL/ITAC/DIGI21	Planificación y control de vuelo, almacenamiento de datos y cálculo
Estructura montaje avión	ITAC	Aerotransporte del sistema

AEROLASER: sistemas

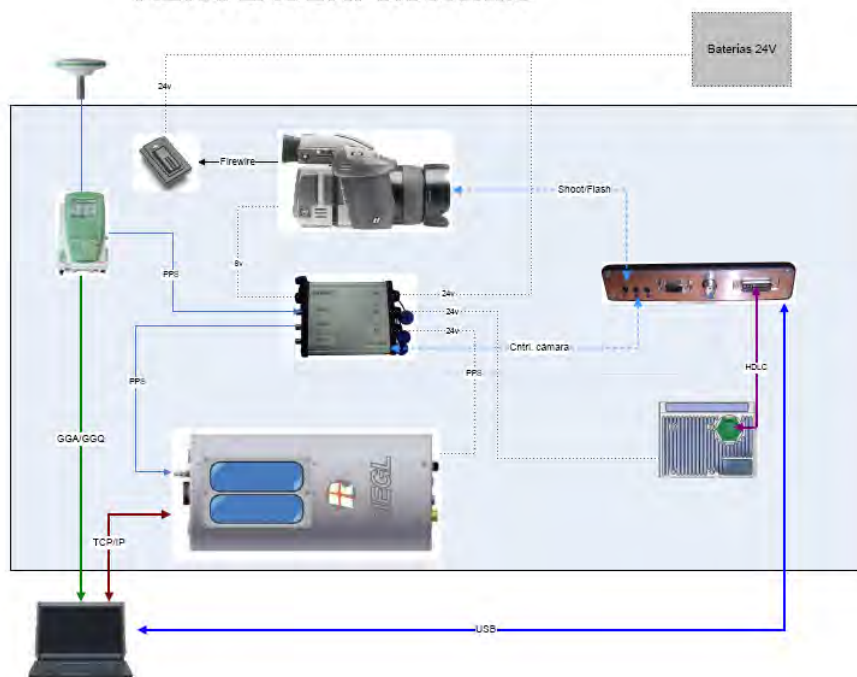


Figura 1. Sistemas de AEROLASER

DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS Y PESOS

Los sistemas de AEROLASER van montados en el avión de forma que se adapten a la ventana construida a tal fin y que se dispongan entre ellos de la forma más eficiente posible.

La construcción de las piezas a partir de los planos aportados se ha de hacer respetando al máximo las medidas que en los mismos se especifican. Especial cuidado ha de tenerse para asegurar que los ejes de los diferentes sistemas de coordenadas sean ortogonales entre sí.

De forma complementaria se instalará también un sistema de fijación de la antena GPS y se fijará el lugar donde irán colocadas las baterías para alimentar AEROLASER. Todas las conexiones se harán de forma que soporten las vibraciones del avión en vuelo, es decir, han de tener algún sistema de fijación segura.

Tabla 2. Distribución de equipos y pesos

Colocación	Equipo	Peso (kg)
Elemento portante	Escáner láser	7,0
	Sensor Movimiento IMU	1,87
	Cámara digital (c/obj. 35 mm)	3,15
	Banco de imágenes + batería	0,65
	Receptor GPS (bat. internas)	1,5
	Batería larga duración GPS	2,035
	Cámara térmica	1,7
	UET	0,25
Techo fuselaje	Antena GPS	0,44
Cabina	PC portátil y programas	4
A determinar	Alimentación eléctrica	20
Fuselaje hacia estribor	Estructura montaje avión	?

Los requisitos mínimos a cumplir en el montaje son los siguientes:

- Sistema de fijación rápido a la bandeja del avión. El elemento portante debe encajar sin holguras en sus guías, de forma que se asegure siempre la misma posición de funcionamiento.
- Base con ventanas para los sensores sin sombras.
- Base horizontal en vuelo que asegure la verticalidad de la toma de datos. La horizontalidad en vuelo se ha de asegurar teniendo en cuenta el peso de los equipos instalados por AEROLASER.
- Soporte para la cámara que asegure su verticalidad en los disparos.
- Disposición de elementos de forma que los ejes de los distintos sistemas de coordenadas sean ortogonales entre sí y con del avión.
- Dispositivo para instalar una antena de telefonía móvil.

SISTEMAS

Unidad de Potencia y Control (UPC)

Esta unidad, diseñada, tiene las siguientes funcionalidades: Entrada de 24 V desde el propio avión o desde un conjunto de baterías, salidas de 24 V para la IMU, el láser y el banco de imágenes; salida de 7,2 V para la cámara digital, duplicador de señal PPS y puerto para el control de la cámara digital.



Figura 2. Unidad de Potencia y control

Unidad Estampadora de Tiempos (UET)

La UET, diseñada, tiene las siguientes funcionalidades:

- Control y toma de datos de la IMU mediante cable HDLC.
- Control y envío de datos al PC mediante USB. Sirve también como alimentación de la unidad.
- Entrada del pulso PPS desde el duplicador de la UPC.
- Conector Shoot para ordenar el disparo de la cámara.
- Conector Flash para obtener el momento de disparo de la cámara.
- Conector para el control del encendido de la cámara.

Algunas de las acciones más importantes de la UET son las siguientes:

1. Configuración del muestreo de la IMU cada 2, 5 o 10 ms.
2. Encendido y apagado de la cámara. La UET mantiene la cámara apagada tras la inicialización del equipo.
3. Activación del disparo de la cámara y de su intervalo. El tiempo se introduce en milisegundos.
4. Comenzar y detener la operación toma de datos del. Transmite las lecturas al PC.
5. Sincronización de la hora con el GPS y mantenimiento de la precisión mediante el pulso PPS que recibe del duplicador.

Las tramas que transmite la UET están formadas por 32 octetos en formato binario que informan de lo siguiente:

- Guiñada (yaw), alabeo (roll) y cabeceo (pitch).
- Aceleración en los ejes Z, X e Y.
- Alarmas de la IMU.
- Hora, minuto, segundo y milisegundo de la toma de datos.
- Alarmas e indicadores de la UET.



Figura 3. Unidad Estampadora de Tiempos

Unidad de Medida Inercial (IMU)

La unidad de medida inercial es de la casa iMAR, modelo iIMU-FSAS-SI, y posee giróscopos multiplexados de fibra óptica y servo acelerómetros.

El instrumento mide los incrementos angulares de rotación y de velocidad (aceleraciones) de tres ejes ortogonales fijos a su cuerpo. Las señales de salida son digitales, proporcionales a los incrementos de ángulos y velocidades de dichos ejes. Las señales se entregan a petición (triggered mode) mediante una interface serie con estándar HDLC.

Los ejes del sensor constituyen un sistema de coordenadas ortogonal a derechas.

Los datos de incrementos de ángulos y velocidades se transmiten como incrementos, es decir, el cambio producido desde la última salida de datos.

Sus características principales son las siguientes:

Tabla 3. Características IMU

	Medida angular	Aceleración
Rango del sensor	± 500 °/s	± 5 g
Desviación (σ)	$< 0,75$ °/hr	1 mg
Resolución	0,1 arcsec/LSB	$0,05 / 2^{15}$ m/s/LSB
Error de escala	$< 0,03\%$	$< 0,04\%$
Desalineamiento de ejes	$< 0,15$ mrad	
Frecuencia de datos	0 – 500 Hz (external triggered)	
Peso	1.870 gr	
Medidas	116 x 128 x 98 mm	

En la parte superior del cuerpo de la IMU se encuentra impreso el sistema de coordenadas. El aparato debe instalarse en el cuerpo del avión de forma que sus ejes (flechas gruesas de colores) coincidan, es decir, el eje Y (color verde) en la dirección del eje longitudinal del aparato, el eje X (color rojo) perpendicular al anterior y hacia la derecha según la dirección de avance y el Z (color azul y visto de frente) completando la tríada con el positivo hacia el techo del aparato.

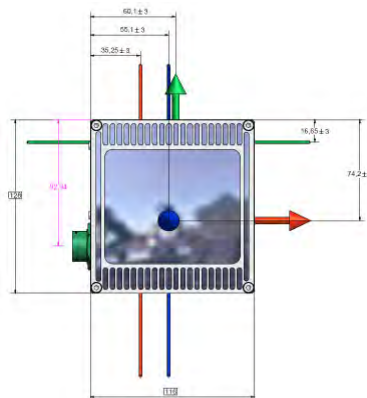


Figura 4. Ejes de la IMU

GPS

El equipamiento GPS está compuesto de los siguientes elementos:

- GX1230 GG: Receptor GPS – GLONASS.
- AX1202 GG: Antena.
- GFU14-1 Sateline 3AS radio módem.
- Antena de radio Gainflex.
- RX1210T: Controlador (libreta) con pantalla táctil.
- GFU24: Carcasa para teléfono móvil.

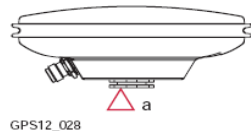


Figura 5. GPS Leica 1200

El receptor GX1230 GG es de doble frecuencia con tecnología SmartTrack+. Hace seguimiento continuo en 14 canales L1 y L2 (GPS), seguimiento continuo en 12 canales L1 y L2 (GLONASS). Dispone de 2 canales para seguimiento SBAS.

El plano mecánico de referencia (MRP) es al que se refieren las alturas de antena. En el caso de la AX1202 GG se encuentra en la parte inferior de la rosca metálica.

AX1201/ AX1202 GG



a) El Plano Mecánico de Referencia se encuentra en la parte inferior, en un extremo de la entrada de la rosca metálica.

Figura 6. Plano mecánico de la antena

Para establecer los desplazamientos de la antena respecto a la IMU hay que tener en cuenta este punto. Los programas de cálculo utilizan los desplazamientos para obtener las coordenadas de otros sistemas respecto a la IMU.

Escáner láser

La unidad láser utilizada es de la casa RIEGL, modelo 2D LASER SCANNER LMS-Q240(i). Utiliza el principio de medida del tiempo de retorno de un pulso y un mecanismo de barrido opto mecánico, consiguiendo líneas de barrido totalmente lineales, unidireccionales y paralelas.

La reflexión del rayo láser se lleva a cabo mediante un polígono rotatorio con tres caras reflectivas. Este rota de forma continua a la velocidad que se ajuste dentro de un ángulo de 60°. La información obtenida de distancia, ángulo, amplitud de la señal y tiempo se transmite vía lan ethernet a un PC.

Está preparado para aceptar el pulso de reloj de un GPS, generalmente a 1 pps. Este pulso reinicia el reloj interno, sincronizando ambos aparatos.

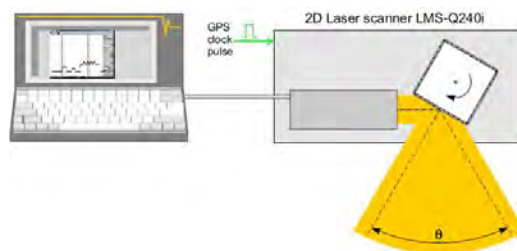


Figura 7. Esquema del escáner

Sus características principales son las siguientes:

Tabla 4. Características del escáner láser

Alcance:	
blancos naturales, $\rho \geq 20\%$:	320 m
blancos naturales, $\rho \geq 80\%$:	650 m
Alcance mínimo	2 m
Caras de espejo	4
Precisión medida	20 mm \pm 20 ppm
Resolución medida	5 mm
Láser PPR (Pulse Repetition Rate)	30.000 Hz
Frecuencia efectiva de medida	10.000 Hz
Longitud de onda del láser	Infrarrojo cercano
Divergencia del rayo	2,7 mrad
Rango barrido	$\pm 30^\circ$. Total 60°
Frecuencia de barrido	6 a 80 líneas/seg
Variación del ángulo de barrido entre disparos láser	De $0,04^\circ$ a $0,48^\circ$
Resolución angular	$0,005^\circ$
Dimensiones	180 x 374 mm (diámetro x largo)

La huella del rayo láser (foot print) es la siguiente:

Tabla 5. Huella del láser

Huella (cm)	Distancia (m)
26,5	100
52,5	200
105	400
157	600

Se da una única medida al objetivo, a seleccionar entre la primera o la última, hasta un máximo de 4 ecos.

El módulo de distanciometría está basado en el principio de medida del tiempo de retorno del eco de un pulso de láser infrarrojo. Una fuente láser emite pulsos que son colimados mediante un sistema de lentes transmisoras. Otro sistema de lentes receptoras recogen una parte del eco reflejado por el blanco que activa un fotodiodo que genera una señal eléctrica. El intervalo de tiempo entre el pulso transmitido y el recibido se mide mediante un reloj interno de frecuencia estabilizada.

El mecanismo de barrido desvía el rayo láser en una dirección definida con precisión. Cada línea de barrido se compone de un número de píxeles (medida láser sencilla). El desvío del rayo se lleva a cabo mediante un polígono de caras de espejo rotatorio que gira a una velocidad determinada. Puesto que no toda la cara de espejo se puede aprovechar (sólo el 33,3% central se aprovecha), existe un hueco de medida entre líneas de barrido.

La sincronización entre el láser y el GPS se consigue por medio del pulso PPS que recibe del segundo. El escáner tiene un reloj interno llamado SyncTimer con una frecuencia de 100 kHz, es decir, con una resolución de 10 microsegundos. Cuando se alimenta con un pulso TTL externo, dicho pulso se denomina SYNC, e incrementa un contador llamado SyncCounter. En este caso, SyncCounter indica segundos y SyncTimer la parte de segundo desde el último cambio de segundo.

El equipo dispone de sincronización de tiempo GPS avanzada. Para llevarla a cabo, se alimenta el PC con el mensaje ZDA (tiempo UTC) del GPS y al escáner con el pulso GPS (PPS). El PC obtiene la fecha y hora y la envía con un comando de sincronización al escáner. Esta información es la del siguiente pulso GPS. Ejecutado el comando, el escáner espera al próximo pulso y limpia los registros SyncTimer y SyncCounter. En lo sucesivo, SyncCounter aumentará un segundo por cada PPS recibido y SyncTimer dará la fracción de segundo desde el último cambio de SyncCounter. La máxima resolución de SyncTimer es de 10 microsegundos.

Trabajando con esta sincronización, los datos del escáner recogen la información sobre el tiempo. En la cola de cada línea tendremos un LineSyncCounter y un LineSyncTimer por cada línea de barrido, así como un ShotSyncTimer con cada medida (cada disparo láser). Además, en la cabecera se especifica el tiempo de sincronización.

El LineSyncCounter y el LineSyncTimer son los SyncCounter y SyncTimer para la primera medida de la línea barrida. Para cada uno de los disparos láser dentro de la línea, el ShotSyncCounter (ShotTime), o tiempo referido a la primera medida se calcula de la siguiente forma:

$$\text{ShotTime (s)} = \text{LineSyncCounter} + 0,00001 * (\text{LineSyncTimer} + \text{ShotSyncTimer})$$

El sistema de coordenadas del escáner es el siguiente:

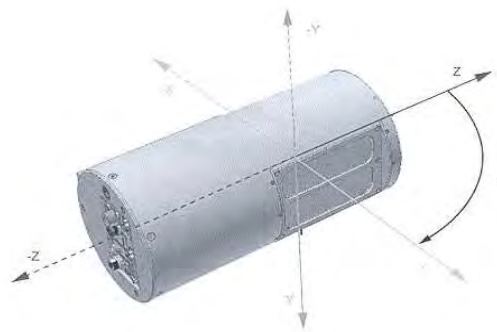


Figura 8. Coordenadas del escáner

El avance se hace en el sentido del eje Y positivo y el ángulo de barrido comienza a contar desde el eje Z positivo hacia el X positivo, en el plano ZX.

El patrón de barrido se define por los siguientes parámetros:

- Ángulo de comienzo de la línea de barrido.
- Incremento de ángulo entre disparos (dentro de la línea).

- Número de medidas (disparos) en una línea.
- Intervalo entre pulsos láser (Laser Pulse Rate PRR) para medidas consecutivas de una línea. Su valor habitual es 30 kHz.
- Modo de barrido: generalmente, $n = 0$ (sin trigger o disparador).

Los parámetros se activan mediante un comando que comprueba los límites y la compatibilidad entre sus valores para proceder a su corrección.

Cuando el rayo alcanza un blanco pero una parte del mismo lo sobrepasa e ilumina otro blanco más allá, se detectan sendas señales de eco para los blancos iluminados. Esta situación se da con frecuencia en zonas de vegetación y, en general, en zonas de cambios bruscos de alturas, por ejemplo, edificios. Mediante un comando es posible seleccionar el blanco, eligiendo el primero, el último o alterno.

Si se detecta un solo blanco, el primero y el último es el mismo. Elegir el primero sería útil para obtener un modelo de superficies, mientras que elegir el último lo sería para obtener el modelo del terreno en zonas de vegetación.

El láser se configura a través de las órdenes que le envía un programa. Uno de los valores más importantes es el de paso de ángulo que puede estar entre $0,04^\circ$ y $0,48^\circ$. Hay que tener en cuenta que la frecuencia de pulso es fija, 30 kHz, y que de la cara de cada espejo se aprovecha únicamente la tercera parte. Si el ángulo de barrido es de 60° (lo habitual salvo que se imponga un límite de comienzo de medida), el número de rayos (o puntos láser) en un barrido viene dado por: $60^\circ / \Delta\alpha + 1$, donde $\Delta\alpha$ es el paso o incremento de ángulo. Por lo tanto en cada barrido podemos tener entre 1.501 y 126 puntos láser.

Para obtener tales números de puntos el láser necesita dos veces la distancia de espejo efectiva hasta alcanzar la zona siguiente útil del siguiente espejo. Como la frecuencia del pulso láser es fija (30 kHz), las líneas por segundo vienen dadas por:

$$\text{Líneas por segundo} = 30.000 / (N^\circ \text{ de puntos} / 3)$$

Para los valores mínimo y máximo de paso de ángulo, el número de líneas está entre 6,7 y 80 por segundo. Cuanto menor es el incremento de ángulo, menor número de líneas.

La separación de los puntos en cada línea de barrido viene dada por la altura de vuelo. Así mismo, la distancia entre líneas de barrido viene dada por la velocidad del avión.

Para obtener un buen muestreo del terreno debemos procurar que la distancia entre puntos de la misma línea y entre puntos de líneas consecutivas sea lo más parecida posible en función de la velocidad y altura del avión. Para estos cálculos se ha preparado una hoja de cálculo en donde se pueden combinar los parámetros a conveniencia.

Incremento de ángulo =	0,23°
Altura de vuelo =	200 M
Velocidad avión =	120 km/h
Longitud línea de barrido =	231 M
Puntos por línea =	262
Resolución (V) =	0,80 m en la vertical
Resolución (E) =	1,07 m en el extremo de la línea
Resolución media =	0,89 m de media
Líneas por segundo =	38,3
Separación entre líneas =	0,89 M
Error angular =	0,02 m en la vertical y en el sentido de la línea
Huella láser (V) =	0,54 m en la vertical

Figura 9. Cálculo de características de barrido

Para las pruebas con vehículo, a una velocidad de 25 km/h el paso de ángulo idóneo es de $0,21^\circ$, obteniendo a 50 m de distancia una resolución de $0,20 \times 0,20$ y una huella láser de 0,14 m.

Cámara fotográfica digital

La cámara es de la casa HASSELBLAD, modelo H3D-22. Es una cámara réflex digital (DSLR) de 48 mm y 22 megapíxeles, que va equipada con dos objetivos también HASSELBLAD: HC 3,5/35 y HC 3,5/50 de 35 y 50 mm de distancia focal, respectivamente. Las imágenes se graban en formato comprimido sin pérdida 3FR (3F RAW) que obtiene una reducción del 33% aproximadamente.



Figura 10. Cámara H3D-22



Figura 11. Objetivos de la cámara

Las características principales de la cámara son las siguientes:

Tabla 6. Características H3D-22

Dimensiones del sensor	36,7 x 49,0 mm
Resolución del sensor	4.080 x 5.440 píxeles (22 Mpíxeles)
Tamaño píxel	0,008995 mm \approx 9 micras
Tamaño imagen	30 MB de media formato 3FR TIFF 8 bits: 66 MB
Profundidad de color	16 bits
Gama ISO	50, 100, 200, 400
Velocidad de disparo	De 32 seg a 1/800 seg
Velocidad de captura	2 seg (30 disparos/min)
Peso	2.175 g
Dimensiones externas	153 x 131 (ancho x alto sin obj.)
Filtro IR	Montado en el sensor CCD

Para el objetivo HC 3,5/35 algunos datos sobre resolución y superficie cubierta son:

Tabla 7. Resoluciones, superficie cubierta y velocidad con el objetivo de 35 mm

H (m)	M	Píxel (m)	Sup. (ha)	Base aérea (60%)	Distancia pasadas (30%)	V (km/h) = 120	
						Frec. dis. (s)	Vel. obt.
100	2.793	0,03	1,4	54,75	71,76	1,64	1.326
150	4.190	0,04	3,2	82,12	107,64	2,46	884
200	5.587	0,05	5,6	109,5	143,52	3,28	663
250	6.983	0,06	8,8	136,87	179,4	4,11	530
300	8.380	0,08	12,6	164,25	215,28	4,93	442
350	9.777	0,09	17,2	191,62	251,16	5,75	379
400	11.173	0,10	22,4	218,99	287,04	6,57	331

La cámara no tiene compensador de imagen, por lo que será preciso conocer la velocidad de obturación adecuada para que no se produzca arrastre del píxel. En cada misión habrá de compaginarse la velocidad de vuelo con la altura para saber si es posible tal combinación para que no se produzca el arrastre de imagen al tiempo que se obtiene una frecuencia de disparo por encima de los 2 s. M es el denominador de la escala del fotograma.

Cámara térmica

La cámara es de la marca NEC San-ei, modelo TH9260. Tiene una matriz de microbolómetros de 640 x 480 y una cámara digital color de 1.280 x 1.024 píxeles, pudiendo superponer ambas imágenes. Es uno de los equipos más avanzados pues tiene una sensibilidad de 0,06° C y una precisión de $\pm 2\%$.

El bolómetro es un aparato para medir la energía de la radiación electromagnética incidente. El microbolómetro es un tipo específico de bolómetro utilizado como detector en las cámaras térmicas, sensible a la radiación infrarroja con longitudes de onda entre 8 y 14 μm . Esta longitud de onda es mayor que la visible (0,4 a 0,7 μm), por lo que atraviesa humo, niebla, polvo, vapor de agua, etc. No necesita refrigeración.

Es completamente automática: nivel, sensibilidad y enfoque.



Figura 12. Cámara TH9260

Sus características principales son:

Tabla 8. Características de la cámara termográfica

Rangos de medida:	
Rango 1:	-20 a 60° C
Rango 2:	-40 a 120° C
Rango 3:	0 a 500° C
Resolución	0,06° C (a 30° C)
Precisión	±2° C o ±2% del valor leído
Detector	640 x 480 píxeles (UFPA microbolometer)
Rango espectral	8 a 14 μm
I.F.O.V.	0,6 mrad
Distancia de enfoque	30 cm a infinito
Campo visual	21,7° (H) x 16,4° (V)
Frecuencia refresco	30 imágenes/segundo
Corrección emisividad	0,10 a 1,00 (en pasos de 0,01)
Interface	IEEE 1394, USB2.0
Peso	1,7 kg (incluyendo batería)
Cámara visual	Detector: 1,3 Megapíxeles Resolución: 1.280 x 1.024 píxeles Sensibilidad: 1 lux Enfoque: 30 cm a infinito

A una altura de vuelo de 200 m el campo visual es de 76 x 58 m. El tamaño del píxel, en unidades terreno, es de 0,12 m. Con estas características, la detección de los cables de alta tensión o de los paneles solares a través de su diferencial de temperatura con el entorno queda plenamente garantizada.

INTEGRACIÓN GNSS-INS. FILTROS DE KALMAN

Los filtros de Kalman explotan la enorme sinergia existente entre los sistemas de navegación por satélite (GNSS) y el sistema de navegación inercial (INS). Mediante el uso de información estadística de los errores en ambos sistemas es capaz de combinar uno cuya incertidumbre es de decenas de metros con otro cuya posición se degrada en kilómetros por hora. Así consigue errores de tan sólo centímetros (trabajando en modo diferencial) a metros.

En el sistema AEROLASER la navegación integrada se obtiene en post-proceso mediante el programa Inertial Explorer. La integración GNSS-INS nos permite relacionar las observaciones GPS en WGS84 con las obtenidas por la IMU en un sistema inercial.

Sensores y sistemas de coordenadas

Un sensor inercial es aquel capaz de medir valores respecto a un marco de referencia inercial (no está sujeto al efecto de fuerza alguna y por lo tanto su movimiento es rectilíneo y uniforme). La IMU lleva a cabo sus medidas en este marco, mientras que el GPS mide en el sistema de referencia WGS84.

Se han de tener en cuenta los siguientes sistemas de coordenadas:

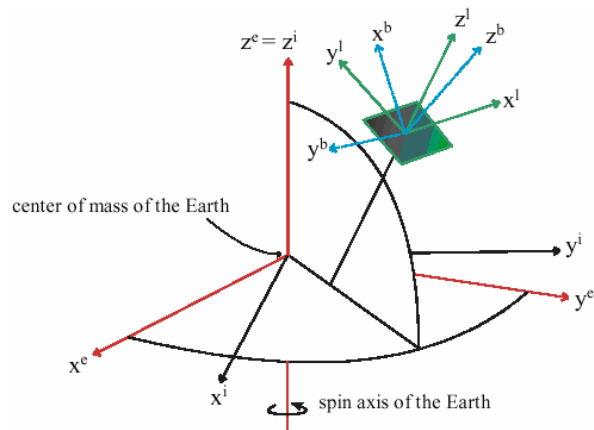


Figura 13. Sistemas de coordenadas

- Marco de referencia inercial (i).
- Marco de referencia computacional (e).
- Marco de referencia de navegación (l).
- Marco de referencia del vehículo (b).

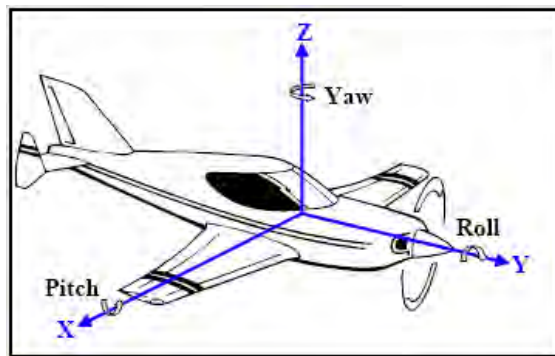


Figura 14. Marco de referencia del vehículo

La coexistencia de tales sistemas nos hace considerar lo siguiente:

- La IMU debe montarse rígidamente a la estructura del avión y con su sistema de referencia coincidente con este último (strapdown).
- Medir exactamente los desplazamientos IMU-GPS, IMU-láser, IMU-cámara digital, IMU-cámara térmica.
- Las coordenadas GPS se trasladan a la IMU y de ésta se obtiene la posición y orientación del resto de equipos.

Alineado de la IMU

Para la correcta integración de los diferentes sistemas de coordenadas es necesario llevar a cabo el alineado de la IMU. El alineado es el proceso de cálculo de los valores iniciales de balanceo, cabeceo y guiñada de la IMU (IMU y avión tienen el mismo sistema de coordenadas).

El alineado estático grosero necesita entre 1 y 2 minutos de datos estáticos. La señal básica del conjunto de acelerómetros es el vector gravedad.

- El balanceo (roll) es función de la aceleración medida en el eje X.
- El cabeceo (pitch) es función de la aceleración medida en el eje Y.
- Los valores aproximados de balanceo y cabeceo calculados se utilizan para definir un plano nivelado aproximadamente.

Todavía queda por calcular el acimut del avión, el guiño (yaw). Este será resultado de las observaciones de los giróscopos. Es importante aquí la calidad en cuanto a la desviación de tales aparatos. Sólo aquellos con desvíos inferiores a 1°/h son adecuados para obtener valores de acimut.

En el alineado fino se utilizan ya lecturas del GPS, de forma que se refinan los datos iniciales.

OBTENCIÓN DE DATOS Y CÁLCULOS

Para controlar todos los sistemas en vuelo y llevar a cabo la toma de datos se ha desarrollado una aplicación que abarca todo ello: AEROLASER. Sus funciones son:

- Medio de comunicación con los equipos que componen el sistema.
- Sistema de navegación visual georreferenciado.
- Aplicación de sincronización de tiempos.
- Almacenar ficheros de observaciones.

Dispone de una ventana de navegación donde se pueden visualizar archivos shape de rutas de vuelo y cartografía, así como ortofotos. Cada sistema tiene una ventana de control que indica el funcionamiento del equipo por medio de iconos de estado y etiquetas informativas.

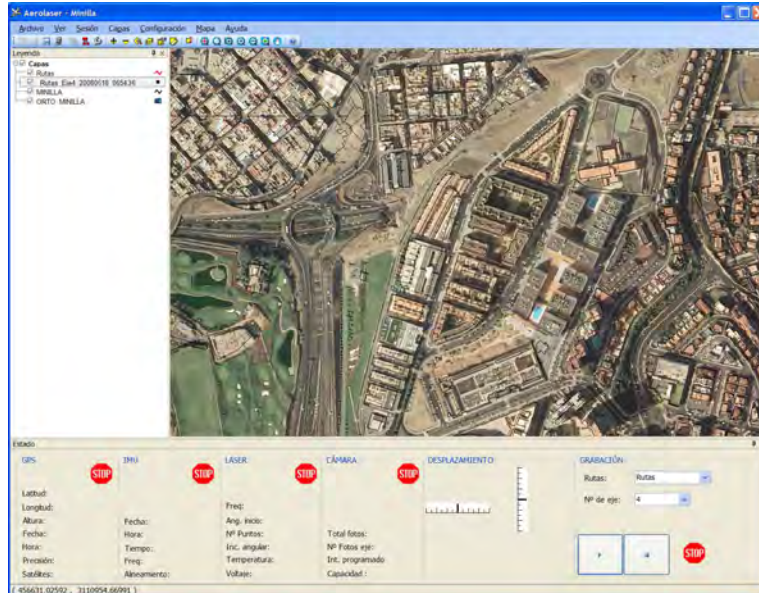


Figura 15. Programa AEROLASER

El archivo de configuración guarda y aplica los parámetros principales, tanto del propio programa como de los equipos. También ofrece una interfaz gráfica de precisión del vuelo respecto a las rutas previstas. Las sesiones de toma de datos se manejan desde esta aplicación.

Para el tratamiento de los datos se ha creado también el programa AerolaserPost con utilidades de conversión de archivos.

Archivos de observaciones

Completada la misión de vuelo se tienen los siguientes archivos de datos:

- IMU: La UET crea un archivo binario .imu con los tiempos GPS y los datos de aceleraciones y giros de la IMU. Mediante AerolaserPost se transforma a .std, formato admitido por Inertial Explorer y que dará como resultado un archivo con extensión .imr. La información sobre los tiempos de disparo de la cámara digital se insertan en los mismos registros y se extraen a un archivo de texto con extensión .evc.
- GPS: Los datos del GPS se almacenan en la tarjeta de memoria y se transforman al formato propio de Inertial Explorer. El archivo de observaciones del GPS móvil contiene también los eventos de cámara.
- LÁSER: Los datos procedentes del láser se almacenan en un archivo binario con extensión .lsr. Cada registro contiene el tiempo GPS, distancia, ángulo e intensidad.
- CÁMARA DIGITAL: Los fotogramas se almacenan en el banco de imágenes de la unidad y se transforman a formato tiff mediante el programa FlexColor de Hasselblad.
- CÁMARA TÉRMICA: Las imágenes se almacenan en la tarjeta de memoria de la propia unidad.

Inertial Explorer

Con el programa Inertial Explorer de Novatel se llevan a cabo los cálculos siguientes:

- Cálculo de las observaciones GPS cinemáticas en post-proceso.
- Procesado GPS-IMU Loosely Coupled. Cuando se hacen pruebas en vehículo terrestre el cálculo es en modo Tightly Coupled. Tiene en cuenta los tiempos de inicialización y los desplazamientos de la antena GPS respecto a la IMU. Aplica los filtros de Kalman para hallar la solución.
- Exporta archivos ASCII con el intervalo de tiempo (milisegundos) adaptado a la frecuencia de datos láser (en escala de tiempo UTC), además de las coordenadas x e y (UTM), la altura ortométrica (elipsooidal corregida de ondulación del geoide) y los giros de pitch, roll y heading.
- Exporta archivos ASCII con el cálculo de la orientación exterior (x, y, H, omega, phi, kappa) de los fotogramas, interpolada según el archivo de eventos de cámara. Tiene en cuenta los desplazamientos del centro de proyección de la cámara respecto a la IMU y las correcciones resultantes del alineado entre ambos sistemas.

Resultados

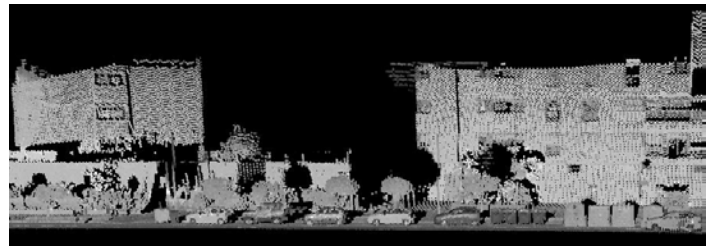
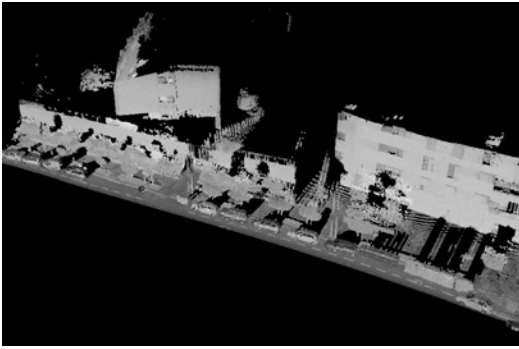
Los resultados finales se obtienen por medio de aplicaciones propias y otras comerciales.

Los puntos láser se calculan mediante Aerolaser Post. Básicamente se trata de una transformación de sistemas de coordenadas. Los puntos se calculan primero en el sistema láser y luego se transforman de acuerdo a la información ASCII proveniente de Inertial Explorer. Por último los puntos se tratan con un programa específico de tratamiento LIDAR de forma que se obtenga una clasificación de puntos según su intervención en el MDT o para otros fines: líneas eléctricas, vegetación, edificaciones, etc.

Los fotogramas, junto a sus orientaciones exteriores y el MDT láser, se tratan en DIGI, programa de fotogrametría ampliamente conocido y testado, obteniendo ortofotos sin necesidad de apoyo terrestre complementario. También es posible obtener cartografía de restitución a gran escala.

Las imágenes térmicas, debido a su menor resolución y finalidad específica, no necesitan una georreferenciación tan exacta, siendo suficiente su superposición sobre las ortofotos.

En las pruebas realizadas con el sistema portado en vehículo terrestre se han obtenido los siguientes resultados:



Figuras 16 y 17. Puntos láser obtenidos en las pruebas de tierra

AGRADECIMIENTOS

Consejería de Empleo, Industria y Comercio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chatfield, A.B. (1977): *Fundamentals of High Accuracy Inertial Navigation*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.

Grewal, Weill y Andrews (2007): *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration*. Wiley-Interscience, segunda edición.

Lerma, J.L. (2002): *Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital*. Universidad Politécnica de Valencia.

Novatel Inc. (2007): *Inertial Explorer User Guide, Version 8.00*.

Rogers, R.M. (2007): *Applied Mathematics in Integrated Navigation Systems*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., tercera edición.

Leránoz, Ana y Zalba Almandoz, Moisés (2008): Seguimiento de las medidas de ahorro de agua mediante técnicas de teledetección y GIS en la provincia de Málaga. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial (Jornadas Técnicas)*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la UPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 927-940. ISBN: 978-84-96971-53-0.

SEGUIMIENTO DE LAS MEDIDAS DE AHORRO DE AGUA MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y GIS EN LA PROVINCIA DE MÁLAGA

Leránoz Goñi, Ana y Zalba Almandoz, Moisés

Trabajos Catastrales, S.A. Carretera del Sadar s/n 31006 aleranoz@tracasa.es, mzalba@tracasa.es

RESUMEN

Se presenta una metodología eficaz para llevar a cabo un seguimiento específico y detallado de las medidas restrictivas a aplicar en caso de sequía sobre piscinas y jardines, basado en herramientas GIS y teledetección.

La situación de sequía provocada por la escasez de precipitaciones afectó durante el año hidrológico 2005/2006 prácticamente a la totalidad del territorio nacional. Esta afección se tornó severa en las provincias más meridionales

El Decreto 240/2005, de 2 de noviembre, por el que se regulan medidas excepcionales ante la situación de sequía de diversos municipios de Málaga (BOJA núm. 217/2005, de 7 de noviembre) establece el procedimiento de declaración de situación excepcional y las medidas que en tal caso son de aplicación.

El área de estudio comprende 1.166 km² de la costa de la provincia de Málaga, se han inventariado 36.686 piscinas y 11.571 ha de jardines susceptibles de ser regados, el proyecto desarrolla una metodología que facilita el seguimiento de las medidas restrictivas adoptadas y permite estimar las dotaciones de agua recibidas en piscinas y zonas verdes.

Tanto la teledetección como los SIG se consideran herramientas de muy altas prestaciones para realizar el seguimiento de dichas medidas. Se aplican algoritmos de clasificación por objeto espectrales y texturales que permiten localizar en imágenes de muy alta resolución espacial (IKONOS 1m) las piscinas y estimar el estado de depuración de las mismas en tres épocas del año (Marzo-Junio-Agosto). La caracterización de las zonas verdes según los aportes de agua recibidos se basa en el cálculo del índice de vegetación normalizado. Como resultado del proyecto se obtienen las dotaciones de agua del área de estudio (21,24 Hm³), que se estiman a partir de datos meteorológicos del año, necesidades de riego (18.81 Hm³) y consumo por evaporación laminar en piscinas (2.43 Hm³).

En el artículo se desarrollan los objetivos del proyecto, el ámbito temporal y territorial del estudio, la metodología seguida para la definición e inventariado de piscinas, zonas verdes y la estimación de dotaciones recibidas, así como los resultados obtenidos que han sido de gran utilidad para la Agencia Andaluza del Agua.

Palabras Clave: Teledetección, Agua, Seguimiento, Ahorro, Estimación de dotaciones.

ABSTRACT

An efficient methodology is presented, based on GIS and Remote Sensing Tools, to carry out a specific and detailed control of the restrictions to be imposed on swimming pools and gardens in case of drought.

The rain shortages during 2005-2006 caused drought in most of the Spanish territory but it was especially severe in the southern regions.

The 240/2005 Decree (2nd November) that regulates the exceptional measures to be adopted in several municipalities of Malaga in case a situation of drought exists (BOJA num. 217/2005, 7th of November), establishes the procedure to declare an exceptional situation and to set up the measures to be applied.

The study area is located on the coast of Malaga and has an extension of 1.166 sq km where an inventory of 36.686 swimming pools and 11.571 ha of gardens that need watering is done. This project develops a methodology that enables the monitoring of the adopted restrictions and allows for the calculation of the water

Both Remote Sensing and GIS are very useful tools to follow the adopted measures. Very high resolution images (IKONOS 1m) are classified using object-based algorithms that take into account not only the spectral but also the textural parameters of the objects. These algorithms help locate the swimming pools and to classify their water condition (purifica-

tion) in three periods of the year (March, June and August). The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is used to characterize the green areas depending on the received watering. In this project the watering resources of the study area (21.24 Hm³) are finally calculated using meteorological data, the watering necessities (18.81 Hm³) and the water consumption of the swimming pools caused by laminar evaporation (2.43 Hm³).

The following aspects will be explained during the presentation: the objective of the project, the temporal and spatial framework of the study, the methodology followed to define the swimming pools' inventory, the green areas and the received water hence used and, finally, the results that are of great importance for the Water Agency of Andalucía.

Key words: Remote Sensing, Water saving evaluation, resource estimation.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolla en el ámbito del Decreto 240/2005, de 2 de noviembre, por el que se regulan medidas excepcionales ante la situación de sequía en diversos municipios de Málaga (BOJA núm. 217/2005, de 7 de noviembre).

En la primavera-verano de 2006 se analizaron las posibilidades de uso de la teledetección para la obtención de información de apoyo en el control del cumplimiento de estas restricciones.

Esta iniciativa de la Agencia Andaluza del Agua (en adelante AAA) está justificada en el incremento de la resolución espacial de los sensores disponibles en el mercado, así como la mayor capacidad y rapidez en el procesamiento de grandes volúmenes de datos, lo que hace posible establecer un sistema operativo de apoyo y orientación para la vigilancia y control basado en técnicas de teledetección.

OBJETIVO

General

Apoyo a la gestión de los recursos hídricos disponibles en el ámbito de los sistemas de Costa del Sol Occidental y área metropolitana de Málaga basado en técnicas de teledetección y GIS.

Específico

Llevar a cabo un seguimiento específico y detallado de la situación de las piscinas (estado) y jardines (actividad vegetativa) con dos orientaciones:

- Inventario de piscinas y jardines.
- Estimación de la dotación de agua.

ÁMBITO TERRITORIAL

El ámbito territorial comprende los municipios afectados por el Decreto 240/2005: Alhaurín de la Torre, Alhaurín el Grande, Alora, Benahavís, Benalmádena, Cártama, Casares, Coín, Estepona, Fuengirola, Istán, Málaga, Manilva, Marbella, Mijas, Ojén, Pizarra y Torremolinos.

El área de interés se define con una envolvente de la zona de estudio que comprende 1.166 km²

ÁMBITO TEMPORAL

El estudio se realiza en el año 2007. Se han adquirido imágenes de **tres períodos** del año:

- Marzo: días 4 y 12
- Junio: días 11 y 22
- Agosto: días 2 y 13

METODOLOGÍA

1 Programación y adquisición de imágenes

Atendiendo a los requerimientos del proyecto se realizó la programación de imágenes IKONOS con las siguientes características:

- Bundle Pancromático-PAN (1 m) + Multiespectral-MS (4 m)
- Total recubrimiento del área de interés.
- La cobertura nubosa inferior al 10 %.
- La verticalidad de las imágenes adquiridas es superior a 10°.
- Se realizan tres coberturas correspondientes a tres ventanas temporales: marzo, junio y agosto de 2007.

Se realizó la programación de adquisición de imágenes en modo de procesamiento Geo Ortho Kit, que incluye las 4 bandas multiespectral, más la pancromática.

2 Tratamiento de imágenes

Los procesos más destacados de esta fase son:

- Fusión
- Ortorrectificación
- Correcciones atmosféricas y radiométricas relativas
- Generación de mosaicos

3 Análisis de las zonas verdes urbanas

El objetivo de esta fase del proyecto es inventariar y clasificar las zonas verdes urbanas para finalmente estimar el consumo de agua de estas áreas, centrandó el análisis de consumo principalmente en las zonas de césped. Los procesos necesarios para alcanzar este objetivo se desarrollan en las siguientes fases:

3.1 Generación de la máscara urbana en el área de estudio

La información de partida para su generación ha sido:

- Cobertura de usos urbanos del litoral andaluz suministrada por la AAA
- Imagen IKONOS de marzo de 2007

La superficie de la máscara urbana del área de estudio resultante ha sido de 250,5 km²

3.2 Cálculo del Índice de Vegetación Normalizado (NDVI)

La forma más común y contrastada de valorar el vigor clorofílico de las cubiertas vegetales mediante técnicas de teledetección es a partir del NDVI (Índice de Vegetación Normalizado).

La vegetación sana y vigorosa presenta baja reflectividad en la banda roja del espectro y alta en el infrarrojo cercano. A partir del mapa de NDVI se eliminan de la máscara urbana las zonas ocupadas por edificios, viales, agua, obteniéndose el inventario verde para cada fecha analizada.

3.3 Definición del Inventario verde

Se considera inventario verde aquellas zonas dentro de la máscara urbana con actividad vegetativa media-alta en las 3 fechas analizadas (116 km²).

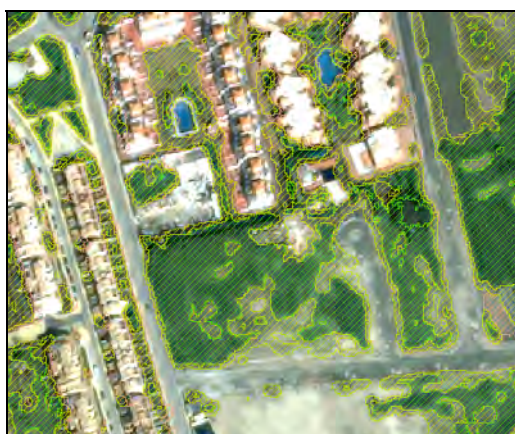


Figura 1. Zonas del inventario verde ralladas según valor del NDVI

Tabla 1. Superficie del inventario verde por municipios (en amarillo municipios cubiertos parcialmente por el estudio)

MUNICIPIO	Superficie Municipio (Ha)	Inventario verde (Ha)	% Inventario verde sobre total Municipio
Alhaurín de la Torre	8.215	658	8 %
Alhaurín el Grande	7.315	161	2 %
Alora	1.695	33	2 %
Benahavis	14.480	831	6 %
Benalmádena	2.757	567	21 %
Cartama	10.505	92	1 %
Casares	16.253	298	2 %
Coín	12.725	8	0 %
Estepona	13.751	1.208	9 %
Fuengirola	1.062	187	18 %
Istán	9.930	2	0 %
Málaga	39.484	2.049	5 %
Manilva	3.535	271	8 %
Marbella	11.824	2.949	25 %
Mijas	14.914	1.871	13 %
Ojén	8.566	42	0 %

Pizarra	6.328	42	1 %
Torremolinos	2.050	303	15 %
Total	185.389	11.571	6 %

3.4 Extracción de las zonas arboladas

Dentro de las áreas verdes urbanas se incluyen zonas arboladas, mixtas y de césped. El análisis en cuanto al estado y consumo de agua se centra en las zonas de césped, por ello es necesario discriminar las áreas ocupadas por arbolado del resto de zonas verdes urbanas.

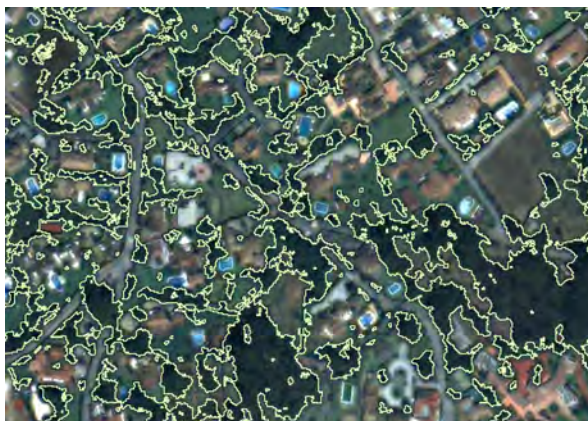


Figura 2. Extracción de zonas arboladas

Tabla 2. Distribución de superficie total del inventario verde

Inventario verde	Superficie arbolada	Superficie de césped
11.571 ha	2.011 ha	9.560 ha

3.5 Categorización de las zonas de césped

Se establecen tres categorías de césped para cada uno de los períodos analizados:

- **Césped No regado:** zonas sin actividad vegetativa o con actividad vegetativa muy baja
- **Césped regado ocasionalmente:** zonas de actividad vegetativa media (en marzo puede ser agua de lluvia, en junio y agosto agua de riego).
- **Césped regado habitualmente:** zonas de actividad vegetativa alta

Tabla 3. Categorización del césped para los tres períodos analizados

Categorización césped	Marzo (Ha)	Junio (Ha)	Agosto (Ha)
Césped regado habitualmente	4.334	3.107	1.649
Césped regado ocasionalmente	2.090	1.723	1.866
Césped No regado	3.136	4.730	6.046

4 Análisis de las piscinas

El objetivo de esta fase es inventariar las piscinas presentes en los municipios del área de estudio. Una vez inventariadas, las piscinas se clasifican según el estado en el que se encuentran en cada fecha de las imágenes: depuradas, sin depurar, vacías/semivacías. Finalmente se estima el consumo de agua de las mismas partiendo de datos climatológicos. En los siguientes puntos se detallan las fases más importantes en el análisis de piscinas.

4.1 Generación del inventario de piscinas

Los procesos más importantes son:

- Localización de objetos “piscina” (verdad campo)
- Procesos de clasificación iterativos: mediante algoritmos que utilizan información radiométrica y textural
- Depuración del inventario
- Control de calidad

Tabla 4. Número de piscinas, superficie y volumen estimado de las mismas por municipios (en amarillo municipios cubiertos parcialmente por el estudio).

MUNICIPIO	Nº PISCINAS	SUPERFICIE (m ²)	VOLUMEN ESTIMADO (m ³)
Alhaurín de la Torre	3.561	174.038	288.752
Alhaurín el Grande	2.465	107.129	175.963
Alora	281	12.184	20.019
Benahavis	1.299	108.097	187.562
Benalmádena	2.788	201.537	345.548
Cartama	1.183	53.228	87.926
Casares	283	16.699	28.425
Coín	158	6.226	10.079
Estepona	3.272	228.988	393.016
Fuengirola	922	72.507	125.034
Istán	0	0	0
Málaga	3.773	236.271	401.028
Manilva	738	47.752	81.621
Marbella	8.192	629.188	1.084.194
Mijas	6.131	404.425	688.109
Ojén	153	9.965	17.062
Pizarra	433	18.937	31.023
Torremolinos	1.054	99.318	173.127
Total	36.686	2.426.490	4.138.487

4.2 Clasificación de las piscinas según su estado

Los procesos realizados en esta fase son:

1. Localización de piscinas (verdad campo) según estado de las mismas:
 - Vacías/Semivacías
 - Depuradas

- Sin Depurar
2. Procesos de clasificación iterativos: mediante algoritmos que utilizan información radiométrica y textural
 3. Entrenamiento del sistema
 4. Depuración de la clasificación
 5. Control de calidad



Figura 3. Clasificación de piscinas según estado (vacía, sin depurar y depurada)

Tabla 5. Resumen de resultados de clasificación de piscinas

Tipo piscina	MARZO		JUNIO		AGOSTO	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Depurada	9.970	27,18	20.476	55,81	29.009	79,07
Sin depurar	14.928	40,69	9.446	25,75	4.019	10,96
Vacía/semivacía	10.128	27,61	6.048	16,49	3.186	8,68
Duda	1.468	4,00	620	1,69	472	1,29
Sin determinar	192	0,52	96	0,26	0	0,00
Total	36.686	100,00	36.686	100,00	36.686	100,00

5 Trabajo de campo

Para acreditación de solvencia técnica de los trabajos realizados se ha procedido a realizar un muestreo y control de campo que sea estadísticamente representativo y permita determinar la precisión de la información obtenida. Para ello:

- Se ha solicitado a los ayuntamientos del área de estudio la localización y selección de una serie de piscinas y áreas verdes que han constituido la red de control de campo en las que se verificó “in situ” ciertos parámetros de algunas piscinas y/o zonas verdes.
- Se ha contactado con expertos en manejo de jardines y estimación de consumos de agua en zonas verdes y piscinas.

6 Estimación de dotaciones de agua

La metodología planteada para la estimación de dotación de agua en zonas verdes y piscinas se sustenta en el cálculo de las necesidades de riego y de la evaporación laminar, ambas calculadas a partir de la Evapotranspiración Potencial-ET₀, obtenida a partir de datos meteorológicos.

Los procesos más importantes han sido:

- Análisis histórico de datos meteorológicos del área de estudio
- Análisis meteorológico del año 2007 y cálculo de dotaciones

6.1 Análisis histórico de datos meteorológicos del área de estudio

Se han analizado series históricas de 23 estaciones del área de estudio y se han calculado las necesidades de riego anuales medias para césped, así como la evaporación laminar media.

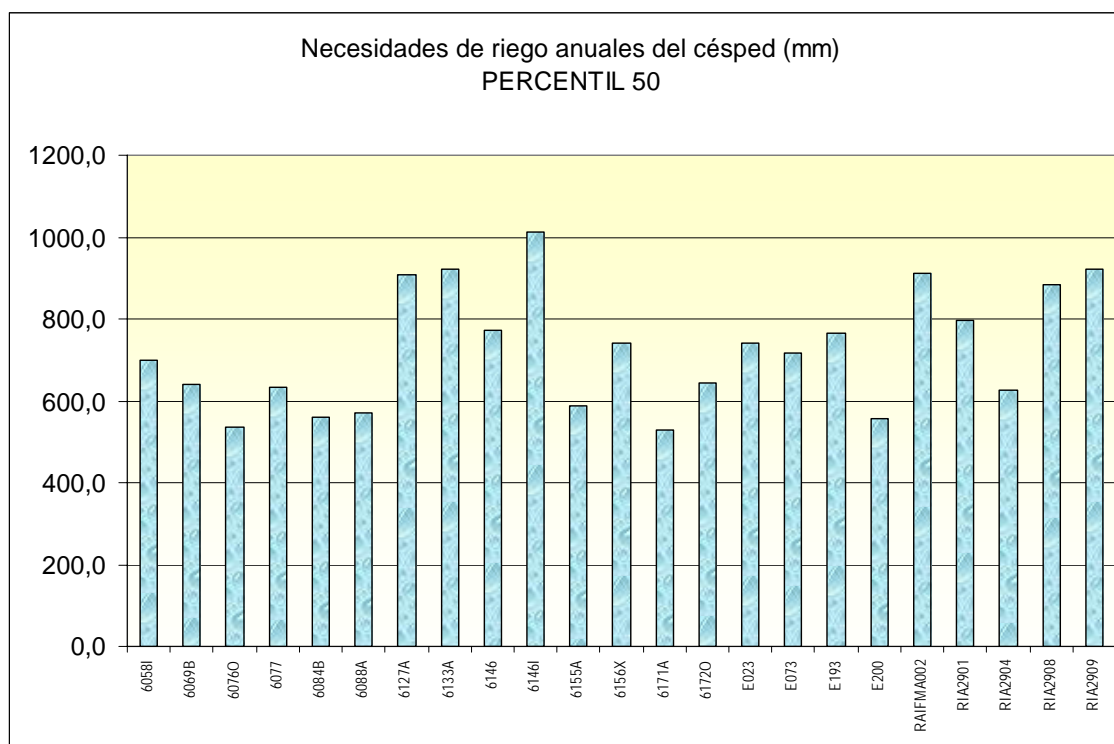


Figura 4. Necesidad de riego anual media (mm) para las estaciones analizadas

6.2 Análisis meteorológico del año 2007 y cálculo de dotaciones

Se ha trabajado con datos de 17 estaciones meteorológicas. Se han realizado cálculos de la ET₀ mensual para los meses de enero a agosto de 2007. A partir del ET₀ se han calculado para las estaciones analizadas:

- Dotaciones de agua de riego en zonas verdes
- Dotaciones de agua en piscinas

Tabla 6. Estimación de consumo de agua en zonas verdes 2007 (en amarillo municipios cubiertos parcialmente por el estudio)

MUNICIPIO	Consumo (Hm ³) Zonas Verdes Enero_Agosto 2007	Consumo (Hm ³) Zonas Verdes 2007	Porcentaje de consumo sobre el total
Alhaurín de la Torre	0,9911	1,1492	5,27%
Alhaurín el Grande	0,2528	0,2931	1,34%
Alora	0,0152	0,0176	0,08%
Benahavis	1,4674	1,7015	7,80%
Benalmádena	1,0485	1,2157	5,57%
Cartama	0,0828	0,0960	0,44%
Casares	0,6339	0,7350	3,37%
Coín	0,0057	0,0066	0,03%
Estepona	2,0571	2,3852	10,93%
Fuengirola	0,2456	0,2848	1,31%
Istán	0,0000	0,0000	0,00%
Málaga	2,3909	2,7722	12,71%
Manilva	0,4522	0,5244	2,40%
Marbella	5,1535	5,9754	27,39%
Mijas	3,3774	3,9161	17,95%
Ojén	0,0600	0,0695	0,32%
Pizarra	0,0227	0,0263	0,12%
Torremolinos	0,5589	0,6481	2,97%
Total	18,8155	21,8166	100,00

En la tabla anterior se observa que la estimación de consumo total acumulado en los meses de enero-agosto de 2007 es de 18,82 Hm³. Para todo el año 2007 se incrementa este consumo hasta los **21,82 Hm³**.

2 Dotaciones de agua en piscinas

En el caso de las piscinas se ha calculado la evaporación laminar acumulada por estación en tres períodos:

- Enero_Marzo
- Abril_Junio
- Julio_Agosto

Tras este cálculo se ha procedido a interpolar los datos puntuales de las estaciones meteorológicas al área de estudio. De esta manera se han obtenido zonas de iso-evaporación laminar para tres períodos del año como se muestra en la siguientes ilustraciones.

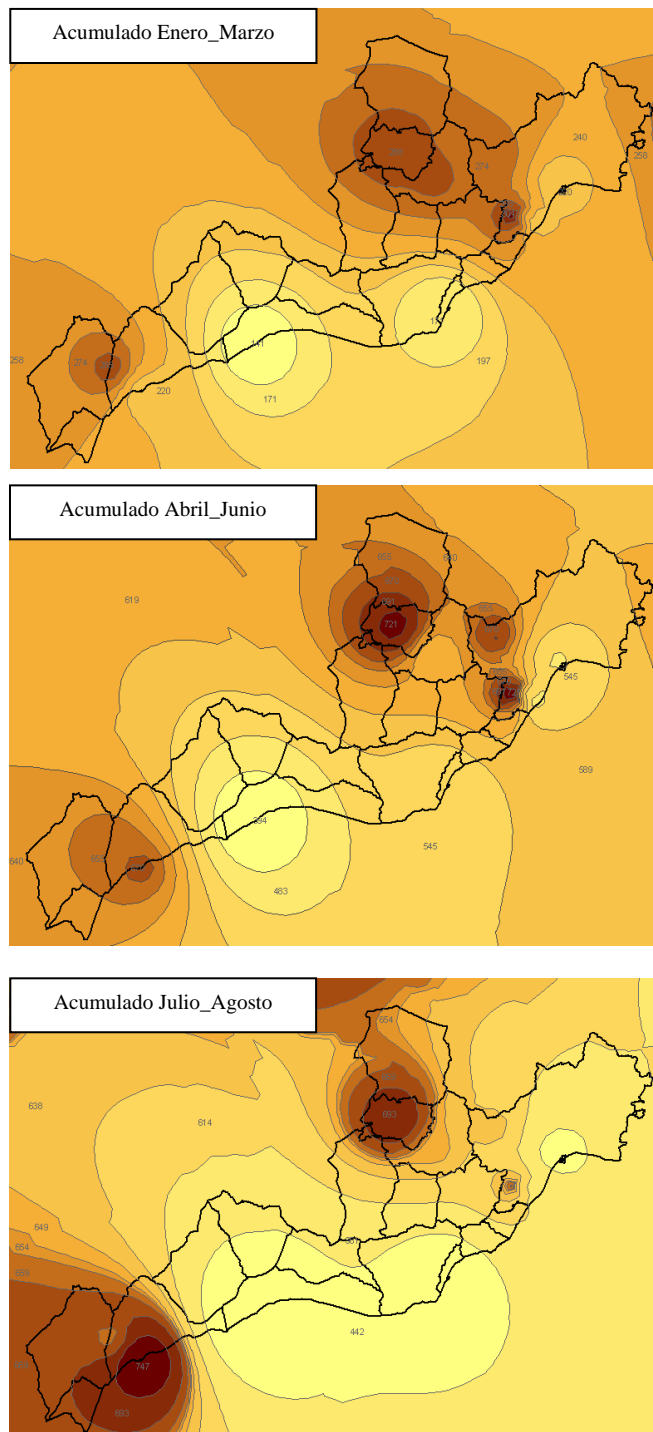


Figura 6. Mapa de iso-evaporación laminar acumulada en tres períodos de 2007

Para asignar una determinada evaporación laminar a cada piscina se han aplicado las evaporaciones laminares acumuladas en cada período a las piscinas que están clasificadas como depuradas en cada fecha. Finalmente para cada piscina se obtiene el consumo final de evaporación laminar sumando los consumos parciales de los tres períodos (marzo, junio, agosto).

Tabla 7. Estimación de evaporación laminar total en 2007 hasta el mes de agosto inclusive (en amarillo municipios cubiertos parcialmente por el estudio)

MUNICIPIO	Número de piscinas depuradas en Agosto	Evaporación Laminar (mm) TOTAL	Porcentaje de evaporación sobre el total
Alhaurín de la Torre	3.561	175.013.387	7,93%
Alhaurín el Grande	2.465	101.282.441	4,59%
Alora	281	14.968.233	0,68%
Benahavis	1.299	87.651.791	3,97%
Benalmádena	2.788	214.902.781	9,74%
Cartama	1.183	57.260.860	2,59%
Casares	283	18.671.731	0,85%
Coín	158	5.244.179	0,24%
Estepona	3.272	241.146.384	10,93%
Fuengirola	922	62.643.489	2,84%
Istán	0	0	0,00%
Málaga	3.773	228.310.537	10,34%
Manilva	738	56.892.894	2,58%
Marbella	8.192	456.548.891	20,68%
Mijas	6.131	345.596.053	15,66%
Ojén	153	5.837.318	0,26%
Pizarra	433	21.048.924	0,95%
Torremolinos	1.054	114.242.325	5,18%
Total	36.686	2.207.262.215	100,00%

En la tabla anterior se observa que la estimación de evaporación laminar acumulada en los meses de enero-agosto de 2007 asciende a **2,21 Hm³**.

Cabe destacar que este consumo por evaporación laminar debería ser incrementado entre un 8% y un 10 % debido al uso (duchas, limpieza, otras pérdidas), según la bibliografía consultada, para estimar el consumo total de las piscinas. De esta manera el consumo del mantenimiento de piscinas ascendería a **2,43 Hm³** aproximadamente de enero a agosto de 2007.

3 Dotaciones totales de agua

En este apartado se resumen las dotaciones finales requeridas por zonas verdes y piscinas en el área de estudio. En la tabla siguiente se muestran los resultados finales de consumo de zonas verdes y piscinas para el período enero-agosto con el fin de que puedan ser comparadas ambas estimaciones. Se ha estimado un 10% de consumo debido al uso por encima de la evaporación laminar en piscinas.

Tabla 8. Resultados finales de consumo para el período enero-agosto 2007

MUNICIPIO	Superficie Municipio	Consumo (Hm ³) Zonas Verdes Enero_Agosto 2007	Consumo (Hm ³) Piscinas Enero_Agosto 2007	Consumo (Hm ³) Total Enero_Agosto 2007	Porcentaje de consumo de las Zonas Verdes sobre el total del Municipio
Alhaurín de la Torre	8.215	0,9911	0,1925	1,1836	83,73%
Alhaurín el Grande	7.315	0,2528	0,1114	0,3642	69,41%
Alora	1.695	0,0152	0,0165	0,0317	47,98%
Benahavis	14.480	1,4674	0,0964	1,5638	93,83%
Benalmádena	2.757	1,0485	0,2364	1,2849	81,60%
Cartama	10.505	0,0828	0,0630	0,1458	56,79%
Casares	16.253	0,6339	0,0205	0,6545	96,86%
Coín	12.725	0,0057	0,0058	0,0115	49,82%
Estepona	13.751	2,0571	0,2653	2,3223	88,58%
Fuengirola	1.062	0,2456	0,0689	0,3145	78,09%
Istán	9.930	0,0000	0,0000	0,0000	0,00%
Málaga	39.484	2,3909	0,2511	2,6420	90,49%
Manilva	3.535	0,4522	0,0626	0,5148	87,84%
Marbella	11.824	5,1535	0,5022	5,6557	91,12%
Mijas	14.914	3,3774	0,3802	3,7575	89,88%
Ojén	8.566	0,0600	0,0064	0,0664	90,33%
Pizarra	6.328	0,0227	0,0232	0,0458	49,46%
Torremolinos	2.050	0,5589	0,1257	0,6846	81,64%
Total	185.389	18,8155	2,4280	21,2435	88,87%

El análisis conjunto de dotaciones permite obtener una visión global muy importante para la toma de decisiones del gestor del agua en épocas de sequía para poder indicar dónde se han de establecer y controlar las medidas a aplicar. Como se muestra en la tabla de resultados anterior el consumo de agua en zonas verdes supone de media más del 88% del consumo total.

Como muestra la tabla nº 8 el consumo de agua en zonas verdes supone de media más del 88% del consumo total. Si bien esta distribución porcentual no es homogénea para todos los municipios, sí que cualquier medida de ahorro de agua que se aplique a estas zonas va a suponer un notable descenso en el consumo de agua.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la distribución de ese consumo en el área de estudio. Los municipios que se muestran como los grandes consumidores de agua son : Marbella, Mijas, Málaga y Estepona.

CONCLUSIONES

1 Objetivos alcanzados

Se ha puesto en marcha una metodología eficaz para llevar a cabo un seguimiento específico y detallado de las medidas restrictivas a aplicar en caso de sequía sobre piscinas y jardines.

Estas técnicas presentan gran potencialidad en el apoyo a la gestión medioambiental, con una capacidad de respuesta ágil y rápida en situaciones determinadas.

2 Análisis de las zonas verdes

Es necesario tener conocimientos previos respecto al manejo de jardines y zonas verdes de la zona, por lo que se considera de gran utilidad toda la información suministrada por los ayuntamientos y gestores del agua.

Se debe crear una red de informadores fiables que proporcionen con detalle, no sólo el dato de consumo de agua, sino también su destino y la superficie.

3 Análisis de las piscinas

Se estima que el consumo de agua debido al uso en las piscinas del área de estudio es de 2.43 Hm^3 , a este consumo hay que añadir aproximadamente $0,87 \text{ Hm}^3$ que se ha estimado para llenar las piscinas que han pasado de vacías a depuradas.

Al igual que las zonas verdes, se debe crear una red de informadores fiables que proporcionen información sobre las prácticas llevadas a cabo en la zona en el mantenimiento de las piscinas.

4 Estimación de las dotaciones

Las estimaciones obtenidas de forma objetiva se ajustan a los consumos esperados según bibliografía consultada y al contraste de expertos.

Por último cabe destacar la importancia de la colaboración de los ayuntamientos y gestores del agua para conocer los consumos reales de agua tanto de las zonas verdes como de las piscinas y así poder determinar cuáles de éstos fomentan las prácticas de ahorro en su ámbito territorial.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Agencia Andaluza del Agua y a la empresa pública EGMASA su confianza, dedicación y participación en la coordinación y dirección de este proyecto. Así mismo, nuestro agradecimiento al IFAPA de Granada y a la empresa pública Riegos de Navarra por su asesoramiento y a los ayuntamientos de Benahavís, Casares, Mijas y Pizarra por la aportación de datos de consumo de piscinas y zonas verdes de sus municipios.

Moreira, José Manuel; Quijada, Javier; Ortega, Elena; Romero, Daniel y Gil, Yolanda (2008): El proyecto SIOSE en Andalucía. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial (Jornadas Técnicas)*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 941-953. ISBN: 978-84-96971-53-0.

EL PROYECTO SIOSE EN ANDALUCÍA

Moreira, José Manuel¹; Quijada, Javier¹; Ortega, Elena¹; Romero, Daniel¹ y Gil, Yolanda²

(1) Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. josem.moreira@juntadeandalucia.es, javier.quijada@juntadeandalucia.es, danielrr@arquitectosdecadiz.com

(2) Empresa de Gestión Medioambiental EGMASA. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. ygil@egmasa.es

RESUMEN

En el caso de Andalucía, SIOSE es un proyecto compartido entre tres Consejerías (Medio Ambiente, Agricultura y Pesca, y Vivienda y Ordenación del Territorio), con la vocación de crear una cartografía de ocupación del suelo común para toda la Junta de Andalucía, siendo la Consejería de Medio Ambiente, la responsable última de la coordinación y desarrollo del proyecto en Andalucía.

Andalucía ya cuenta con una base de datos a escala 1:25.000, con un grado alto de compatibilidad con SIOSE, actualizada cada cuatro años, el Mapa de usos y Coberturas Vegetales de Andalucía.

Además, cuenta con distintas iniciativas cartográficas temáticas de más detalle, pero no homogéneas para todo el territorio (Mapa de Vegetación 1:10.000, SIGPAC, que tiene más detalle/subdivisión en zonas agrícolas, etcétera). Esto hace que la motivación de Andalucía sea conseguir una base de datos de mucho más detalle, a escala 1:10.000, mediante la realización de un esfuerzo de integración de estas bases de datos y de actualización de las mismas al año 2005. Posteriormente, y mediante procedimientos automáticos y manuales, se genera la cartografía de SIOSE Nacional a 1:25.000 a partir de la cartografía de SIOSE Andalucía a 1:10.000.

En líneas generales, SIOSE Andalucía consiste en la realización de una cartografía a escala de detalle 1:10.000, que integra una serie de fuentes de información en una sola capa, y actualizada al año 2005.

Palabras Clave: SIOSE, usos y cubiertas del suelo, generalización de cartografía.

ABSTRACT

In the case of Andalusia, SIOSE is a shared project among three Regional Government Departments (Environment, Agriculture and Fisheries, and Housing and Land Planning), whose aim is to create a common land cover map for the whole Regional Government of Andalusia, the Department of the Environment being ultimately responsible for coordinating and executing the project in Andalusia.

Andalusia already has a 1:25000 scale database with a high degree of compatibility with SIOSE, and which is updated every four years: the Land Use and Land Cover Map of Andalusia.

It also has various thematic maps (which are more detailed but not homogeneous) for the whole region (Vegetation Map 1:10000, SIGPAC, which has more detail/subdivision into agricultural areas, etc.). Consequently, the Regional Government of Andalusia wants to produce a much more detailed database (1:10000) by making an effort to integrate these databases and update them to the year 2005. Subsequently, automatic and manual procedures will be used to generate the 1:25000 scale National SIOSE map on the basis of the 1:10000 scale Andalusia SIOSE map.

Along general lines, SIOSE Andalusia involves preparing a 1:10000 scale map that integrates a number of information sources in a single layer, and updated to the year 2005.

Furthermore, automatic processes are being used for geometric adjustment to registered land and property plots, with the ultimate aim of establishing a single geometry for the whole region, which will also be useful for the management of the latter.

Keywords: SIOSE, land uses and land cover, cartographic generalization.

INTRODUCCIÓN

La Red de Información Ambiental de Andalucía, creada por la Ley 7/2007, de 9 de julio, de la Gestión Integral de la Calidad Ambiental, tiene por objeto la integración de toda la información alfanumérica, gráfica o de cualquier otro tipo sobre el medio ambiente en Andalucía, generada por todo tipo de centros productores de información ambiental en la Comunidad Autónoma, para ser utilizada en la gestión, la investigación, la difusión pública y la toma de decisiones, correspondiendo a la Dirección General de Planificación e Información Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente la organización, gestión y evaluación de la Red de Información Ambiental de Andalucía, REDIAM. Esta red engloba al Sistema de Información Ambiental de Andalucía, SinambA, en el cual, desde 1983, se generan y gestionan mediante el uso de los sistemas de información geográfica y de la teledetección, diferentes capas de información relacionadas con el uso y la ocupación del suelo.

Enmarcada dentro de la de la Red de Información Ambiental de Andalucía, REDIAM, se encuentra el proyecto SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España).

El proyecto SIOSE es una iniciativa de la Administración General del Estado, a través de la cual se creará una base de datos sobre ocupación del suelo homogénea nacional, a escala 1:25.000, con el año 2005 como referencia temporal.

La ejecución del proyecto se realiza de forma coordinada con las Comunidades Autónomas, siendo éstas las responsables del levantamiento de la información.

La creación de un nuevo Sistema de Información sobre Ocupación de Suelos de España, donde se pueda integrar la información de las Bases de Datos de ocupación de Suelos de las Comunidades Autónomas y de la Administración General del Estado, constituye, en efecto, un proyecto muy ambicioso destinado a convertirse en un referente español y europeo en materia de información geográfica. El SIOSE se enmarca dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio en España, que dirige y coordina el IGN/CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica), con la pretensión de establecer una gran infraestructura de información geográfica de uso multidisciplinar y actualizada periódicamente, a disposición de la Administración General del Estado y de las Comunidades Autónomas.

En el caso de Andalucía, SIOSE es un proyecto compartido entre tres Consejerías (Medio Ambiente, Agricultura y Pesca, y Vivienda y Ordenación del Territorio), con la vocación de crear una base de información de ocupación del suelo común para toda la Junta de Andalucía, siendo la Consejería de Medio Ambiente, la responsable última de la coordinación y desarrollo del proyecto en Andalucía.

Andalucía ya contaba, en el contexto del SinambA, con una base de información a escala 1:25.000, con un grado alto de compatibilidad con SIOSE, actualizada cada cuatro años, el Mapa de usos y Coberturas Vegetales de Andalucía.

Además, se cuenta con diferentes proyectos desarrollados en entornos SIG referidos a aspectos temáticos de más detalle, pero no homogéneos para todo el territorio (Mapa de Vegetación 1:10.000, inventarios temáticos, SIGPAC, que ofrecen más detalle/subdivisión en zonas agrícolas, forestales, etc...). Esto ha hecho que la motivación principal de la Comunidad Autónoma esté orientada a conseguir una base de datos de mucho más detalle, a escala 1:10.000, mediante la realización de un esfuerzo de integración de múltiples bases de información y de actualización o desactualización de las mismas al año 2005. Posteriormente, y mediante procedimientos automáticos y manuales, se genera la cartografía de SIOSE Nacional a 1:25.000 a partir de la base de información de SIOSE Andalucía a 1:10.000.

ANTECEDENTES

Los antecedentes de esta iniciativa, se encuentran, de una parte, en el Proyecto Europeo "Image & Corine Land Cover 2000" y en el compromiso de actualización periódica de una Base de Datos de Ocupación del suelo para España. De otra parte, en el proyecto de Usos y Coberturas Vegetales del Suelo en Andalucía y en el Mapa de Vegetación Natural a escala 1:10.000.

El SIOSE pretende reunir en único sistema de información los datos precisos para el conocimiento integral de la ocupación del suelo en España, con el propósito general de ‘recoger la información una vez’ y ‘utilizarla por todos’, de acuerdo a los principios de la iniciativa INSPIRE de la Unión Europea. Estos mismos principios de integración e interoperabilidad, pero con mayor nivel de detalle, útil a la gestión del territorio, y vinculando la ocupación del suelo con la propiedad del mismo (en ámbitos no urbanos, inspiran SIOSE Andalucía.

METODOLOGÍA

Las características principales del SIOSE en Andalucía son las siguientes:

- Su enfoque integrador de las actuaciones territoriales.
- Su vocación de convertirse en el Sistema de información sobre usos del suelo de la Junta de Andalucía.
- Su utilidad para la gestión y actualización vinculada a proyectos de futuro.

En líneas generales, SIOSE Andalucía consiste en la realización de una base de información gráfica a escala de detalle, 1:10.000, que integra una serie de fuentes de información en una sola capa, actualizada, o desactualizada, al año 2005 y ajustada a los límites del parcelario, con el fin último de conseguir una geometría única para todo el territorio, que además sea útil para la gestión del mismo.

La información principal a integrar es la siguiente, entre la ya existente en la Comunidad Autónoma:

- Sistema parcelario de Andalucía (SIGPAC). Catastro de rústica y recintos con usos agrícolas
- Cartografía de los ecosistemas forestales a escala de detalle, Mapa de Vegetación 1:10.000.
- Inventario de minas, canteras y graveras de Andalucía, a escala 1:10.000.
- Inventario de Balsas de Andalucía, escala 1:10.000.
- Inventarios de Humedales de Andalucía, escala 1:10.000.

Por otra parte se utilizarán otras fuentes de información de referencia, definidas en el manual de referencia de SIOSE a nivel del Estado:

- Ejes de Catastro urbano
- Red hidrográfica BCN25
- Redes de comunicaciones BCN25

El procedimiento y organización del proyecto en Andalucía, difiere con respecto al establecido como orientación en SIOSE Nacional. Para la organización de los trabajos se han diferenciado tres áreas temáticas principales, de forma que cada una de las Consejerías involucradas en el proyecto estará a cargo de cada una de estas áreas y para las que se ha adquirido un compromiso de actualización anual:

- Áreas Agrícolas (Consejería de Agricultura y Pesca)
- Áreas Forestales (Consejería de Medio Ambiente)
- Áreas Urbanas (Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio)

El trabajo requerido para la generación de la base de información que denominamos SIOSE Andalucía se ha dividido en cuatro fases:

- 1.- Zonificación del territorio en áreas continuas de trabajo (no en hojas del MTN 1:25.000).
- 2.- Generación de una geometría previa como base a la fotointerpretación que unifica el conjunto de fuentes de información preexistentes y facilita el ajuste de los mismos a los límites del parcelario.
- 3.- Fotointerpretación, asignación a los diferentes elementos cartográficos la información alfanumérica requerida por este proyecto.

4.- Adaptación de SIOSE Andalucía al modelo de datos de SIOSE Nacional.

Estas cuatro fases de trabajo, se dividen a su vez en una serie de procesos, que pueden sintetizarse en el esquema que vemos a continuación:

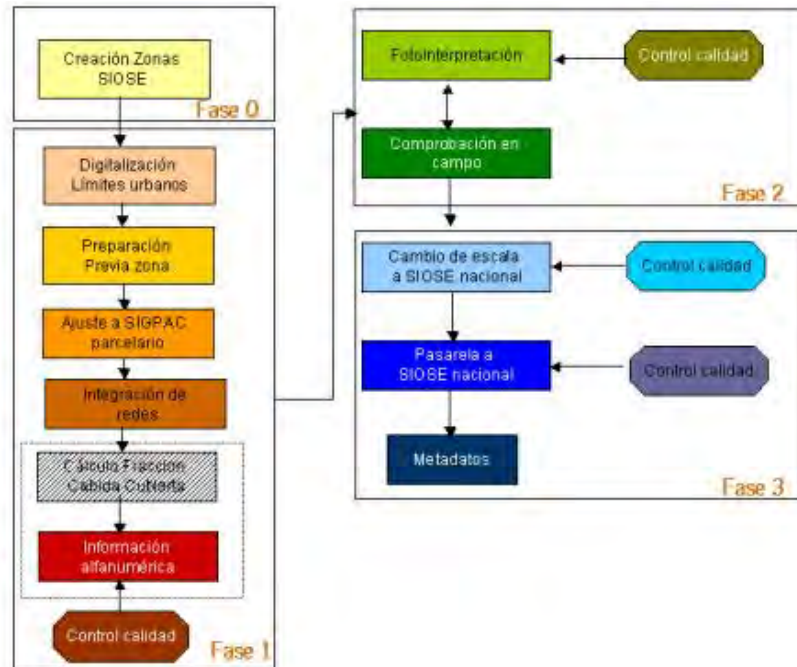


Figura 1. Mapa de Procesos

Fase 0: Creación de Zonas de trabajo SIOSE

El objeto de esta fase es obtener una zonificación continua, relativamente homogénea en cuanto al uso y cubierta vegetal, de límites inamovibles, y ajustados a algún elemento relacionado con el parcelario. El ajuste a la propiedad será una directriz a seguir en todo el proyecto para conseguir que el mapa SIOSE generado sea útil en la toma de decisiones y en la gestión del territorio.

El ajuste al parcelario se ha realizado utilizando el SIG parcelario (SIGPAC), que además es una más de las coberturas a integrar en el mapa SIOSE Andalucía, concretamente para la creación de las zonas de trabajo SIOSE, se han utilizado caminos de uso público extraídos del SIGPAC, tal como puede apreciarse en la siguiente figura:



Figura 2. Creación de zonas

Fase 1: Preparación de las zonas de trabajo SIOSE

Esta fase consiste en la generación de una geometría previa como base a la fotointerpretación que unifique todas las coberturas a integrar, así como su ajuste a las líneas de la propiedad.

Para ello, deben realizarse una serie de procesos secuenciales que se describen a continuación:

1. Digitalización de límites urbanos: El objetivo de este proceso es obtener una cobertura de contornos de núcleos urbanos, a fecha de 2005, a integrar posteriormente con la cartografía base. Para ello se han seguido los pasos que se indican a continuación:
 - a. Localización de núcleos urbanos utilizando los contornos de catastro.
 - b. Digitalización/actualización de límites urbanos, según imagen de 2005.
 - c. Asignación de código SIOSE a los núcleos urbanos delimitados.
 - d. Obtención de cobertura de límites de núcleo urbanos digitalizados.

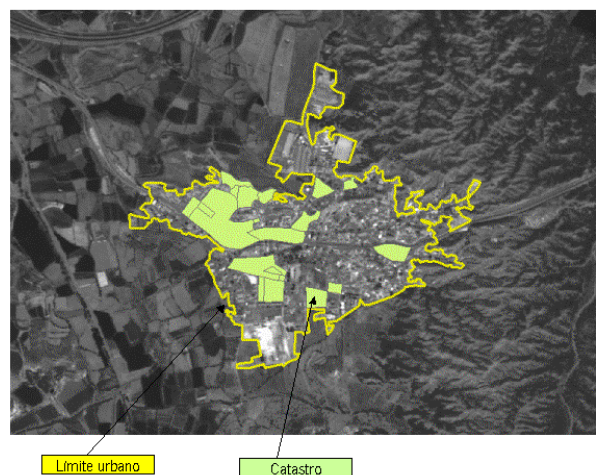


Figura 2. Digitalización de límites urbanos

2. Preparación previa de la zona de trabajo: Este proceso pretende preparar los elementos necesarios de las diferentes fuentes de información cartográfica para su posterior integración y ajuste a los límites de la propiedad, para ello se realizan varias operaciones:
 - a. Extracción del SIGPAC y del Mapa de Vegetación de Andalucía, 1:10.000, ajustado a la zona de trabajo SIOSE.
 - b. Obtención del *SIGPAC parcelario*.
 - c. Obtención del *SIGPAC usos*.
 - d. Incorporación de información de las declaraciones agrícolas.
 - e. Extracción de canteras, balsas y humedales de los correspondientes inventarios.
3. Ajuste a SIG parcelario e integración de coberturas: El objetivo de este proceso es la obtención de una sola cobertura, con una geometría única, y ajustada a los límites del SIG parcelario.



Figura 3. Integración de coberturas

El procedimiento consiste en una serie de procesos que se pueden resumir en los siguientes pasos:

- a. Unión de coberturas: Se procede a la unión de las coberturas siguientes, en el orden de prelación que se indica:
 - Canteras
 - Balsas
 - Humedales
 - Contorno de límites urbanos
- b. Ajuste de coberturas al SIG parcelario: Procedimiento metodológico automático que ajusta las coberturas a las líneas del SIG parcelario, tomando como criterio un margen de tolerancia de 5 m, de manera que todas las líneas que estén a menos de 5 metros de la propiedad, se unirán a esta.
- c. Ajuste a las líneas del SIG parcelario de la cartografía temática (Mapa de Vegetación y/o SIGPAC usos)
- d. Unión de todas las coberturas que han sido ajustadas al SIG parcelario.
- e. Eliminación de micropolígonos: Durante el proceso de integración de coberturas y ajuste a la propiedad, pueden producirse micropolígonos que se eliminan en este paso mediante un procesos automatizado.

El resultado final es el siguiente:



Figura 4. Coberturas integradas y ajustadas a propiedad

En las figuras que aparecen a continuación, pueden observarse de donde provienen los distintos polígonos:

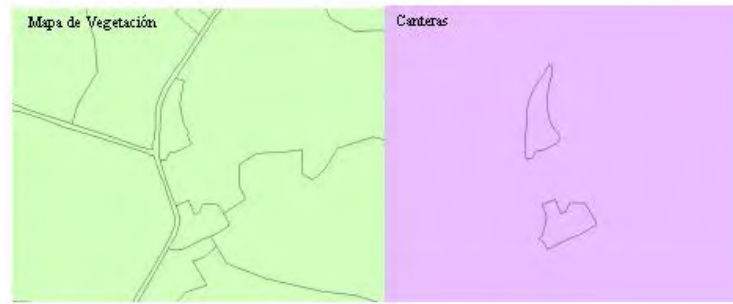


Figura 5. Coberturas de origen

4. Integración de redes: El objetivo de este proceso es asegurar que todos los cursos de agua y vías de comunicación, se encuentren incluidos.

Para ello se comparará nuestra cobertura con la BCN25 (Base Cartográfica Numérica), y en caso necesario, se creará una capa con información de la BCN25 que será revisada e integrada en el proceso de fotointerpretación.

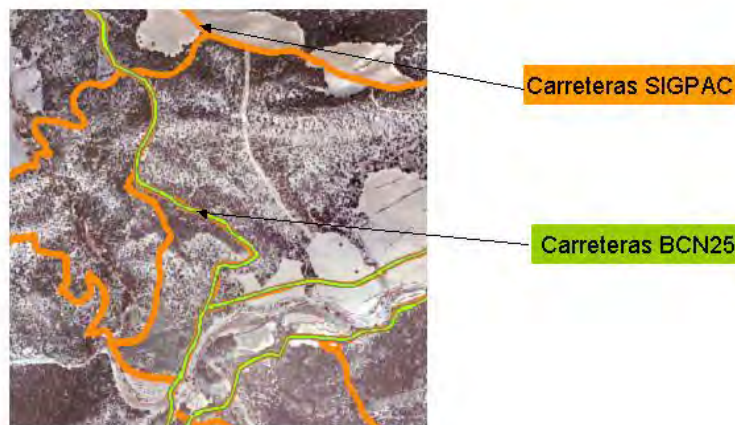


Figura 6. Integración de redes

5. Obtención de la fracción de cabida cubierta: Obtención de la fracción exacta de cabida cubierta de los distintos estratos de vegetación: arbolado, matorral, herbáceos y suelo desnudo, para cumplir los requerimientos de SIOSE nacional.

El procedimiento consiste en el análisis de la ortofotografía para obtener automáticamente la fracción de cabida cubierta de los distintos estratos, utilizando dos aplicaciones informáticas de clasificación: Feature Analyst y Envi. El procedimiento consta de las siguientes fases:

- a. Recogida de muestras de los diferentes estratos para el entrenamiento del clasificador

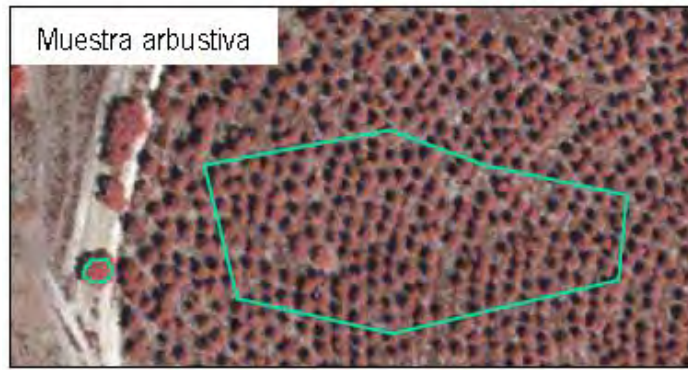


Figura 7. Recogida de muestras

- b. Obtención de cobertura clasificada en cuatro categorías A (arbórea), M (arbustiva), H (herbáceo) y S (suelo), a comparar con la capa SIOSE.

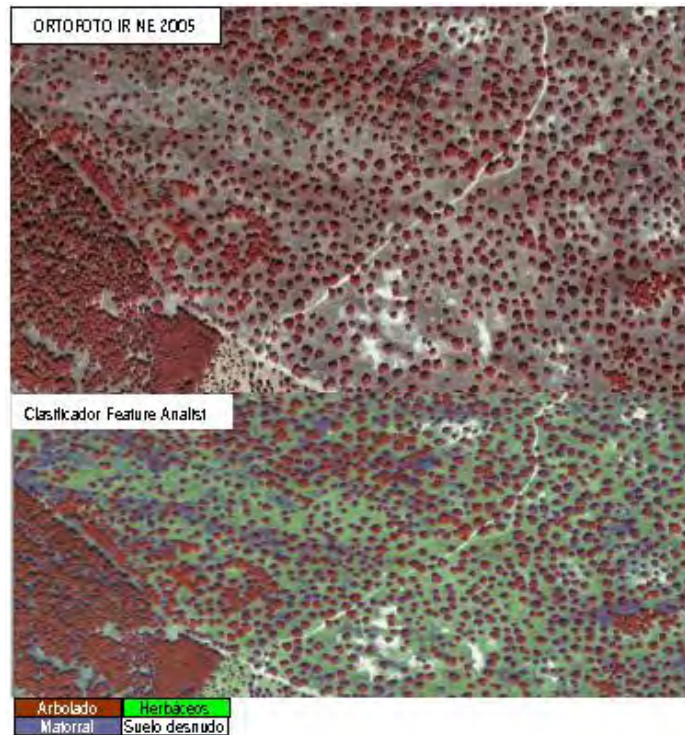


Figura 8. Ejemplo Clasificador 1

- 6. Obtención de información alfanumérica: Incorporación de datos alfanuméricos en la cobertura obtenida. El objeto de este proceso es integrar nuestra cobertura en el modelo de datos de SIOSE, así como marcar aquella información que el fotointérprete debe revisar.

El procedimiento consiste en ejecutar una serie de consultas que tendrán el siguiente resultado:

- a. Incorporación de resultados obtenidos del proceso de fracción de cabida cubierta y comparación de los mismos con el mapa de vegetación de Andalucía para obtener los polígonos a revisar por el fotointérprete.

- b. Incorporación de tablas con las clases a revisar en el proceso de fotointerpretación, para adecuarse a requerimientos de SIOSE, concretamente se revisarán aquellas clases que son diferentes en SIOSE Andalucía y en SIOSE nacional.
 - c. Asignación de Código SIOSE a los elementos integrados: balsas, canteras y humedales.
7. Control de calidad de las zonas preparadas: Se realizará una revisión de las zonas preparadas para asegurar que cumplen todos los requerimientos necesarios, y según la siguiente tabla:

CONTROL CALIDAD FASE 1: PREPARACIÓN ZONAS
Ausencia de agujeros
Ausencia de polígonos multiparte
Ausencia superposiciones
Ausencia de micropolígonos
Comprobar que se han integrado todas las balsas
Comprobar que todas las balsas están ajustadas a la propiedad
Todas las balsa tienen su identificador único
Todas las balsas tienen COD_SIOSE
Comprobar que se han integrado todas las canteras
Todas las canteras están ajustadas a la propiedad
Todas las canteras tienen su identificador único
Todas las canteras tienen su COD_SIOSE
Comprobar que se han integrado todos los humedales
Todos los humedales están ajustadas a la propiedad
Todos los humedales tienen su identificador único
Todos los humedales tienen su COD_SIOSE
Están presentes en la capa todos los límites marcados por los de ejes de catastro
Los límites urbanos se ajustan a la propiedad
Todos los recintos agrícolas tienen asignado un uso SIGPAC y el coeficiente de riego
Todos los recintos forestales tienen la información proveniente del veqe10

Figura 9. Control Calidad Fase 1

Fase 2: Fotointerpretación

1. Fotointerpretación: Fotointerpretación de las distintas áreas temáticas, proporcionando elementos ya fotointerpretados a los equipos de trabajo, que provienen de las diversas fuentes de información que se integran en SIOSE Andalucía (Mapa de Vegetación, inventarios temáticos,..).
 - a. Fotointerpretación Forestal: Como información base, se parte del Mapa de Vegetación de Andalucía 1:10.000 previamente fotointerpretado, por lo que las tareas a realizar serán las siguientes:
 - o Actualización a 2005.
 - o Revisión de determinadas clases SIOSE que cambian.
 - o Revisión de la continuidad de la red hidrográfica y viaria.
 - o Revisión de la vegetación riparia
 - b. Fotointerpretación Agrícola: Se fotointerpreta todo el territorio, aunque se recuperan algunos usos del SIGPAC, y se desarrolla una prolja leyenda de usos agrícolas..
 - c. Fotointerpretación Urbana: Se fotointerpreta todo el territorio, apoyándose en la fotointerpretación previa de catastro.

Para la fotointerpretación, se ha desarrollado una aplicación informática de apoyo a la edición y un manual específico que define y explica cada uno de los casi 200 niveles de leyenda utilizados.



Figura 10. Aplicación de apoyo a la fotointerpretación

2. Comprobación en campo: Método de observación en campo dirigido al control y comprobación de la clasificación de los polígonos del proyecto SIOSE, así como a la resolución de posibles dudas en la fotointerpretación. El procedimiento seguido es el siguiente:
 - d. Elaboración de tablas de usos más representativos y principales clases a revisar.
 - e. Selección de polígonos a revisar (mínimo 16 polígonos no adyacentes por unidad de trabajo)
 - f. De cada polígono seleccionado tomar una fotografía principal, a completar con otras cuatro en las cuatro direcciones cardinales: norte, sur, este y oeste.
 - g. Productos a entregar:
 - o Base de datos (formato Access): punto observado, coordenadas, orientación y datos de comprobación en campo.
 - o Álbum digital de fotos de campo.
3. Control de Calidad de la Fotointerpretación: Revisión y comprobación de que el proceso de fotointerpretación, se ha realizado según los requisitos de SIOSE. Se revisarán los siguientes aspectos:
 - h. Aspectos generales: Sistema geodésico de referencia, proyección cartográfica, contenido de las tablas según el modelo de datos SIOSE, anchura de los elementos lineales, control polígonos (% cobertura máxima 100%), continuidad de la red hidrográfica y viaria, etc.
 - i. Control Topológico: Entidades con geometría distinta a los polígonos, arcos colgantes, extremos libres, huecos y solapes.

- j. Casado entre hojas: Coincidencia geométrica y semántica.
- k. Control geométrico y semántico de la fotointerpretación: Control geométrico respecto de la imagen de referencia SPOT5, y control geométrico del ajuste a la propiedad. Control semántico (errores en la asignación de coberturas, errores en la asignación de clases y atributos,..)

Fase 3: Adaptación a SIOSE Nacional

El objetivo de esta fase es la obtención de SIOSE a partir de SIOSE Andalucía. Conlleva dos procesos que vemos a continuación:

1. Pasarela de modelo de datos: Adaptación del modelo de datos de SIOSE Andalucía a SIOSE nacional: Para este proceso se ha elaborado una tabla de conversión de los datos de SIOSE Andalucía a SIOSE nacional según las tres áreas temáticas.
2. Cambio de escala: Cambio a la escala 1:25.000 de SIOSE nacional. Este proceso se realiza de manera asistida por procesos automatizados o semiautomatizados, mediante el procedimiento de localizar aquellos polígonos menores de 2 Ha (requisito de SIOSE nacional), y agregarlos según su uso mediante un proceso automático de unión de polígonos según el grado de afinidad de los % de coberturas. Además para aquellos casos en que sea necesario la revisión previa a la agregación, se ha desarrollado una aplicación informática para que sirva de apoyo en el proceso, permitiendo localizar los polígonos de forma automática:

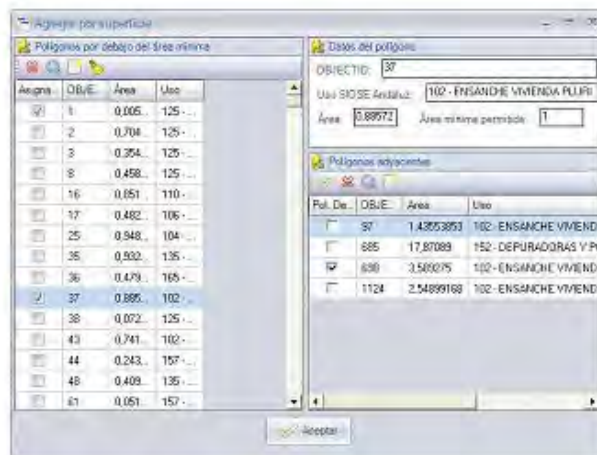


Figura 11. Aplicación de apoyo a la agregación

3. Control de Calidad de la Adaptación: Se realiza seleccionando al azar el 5% de los polígonos resultantes de cada uno de los procesos anteriores, y posterior comprobación.
4. Metadatos: Será necesario la generación de metadatos del producto obtenido. Para SIOSE Andalucía, se utilizará el editor de metadatos y la plantilla de la REDIAM. A continuación se realiza una carga automática para la generación de los metadatos de SIOSE nacional, de forma que se obtengan los productos siguientes requeridos por SIOSE:
 - a. Metadatos por cada hoja 1:25.000
 - b. Metadato de SIOSE correspondiente a toda la Comunidad Autónoma.

RESULTADOS

Actualmente SIOSE Andalucía se encuentra en pleno proceso de producción, como podemos observar en el siguiente mapa:

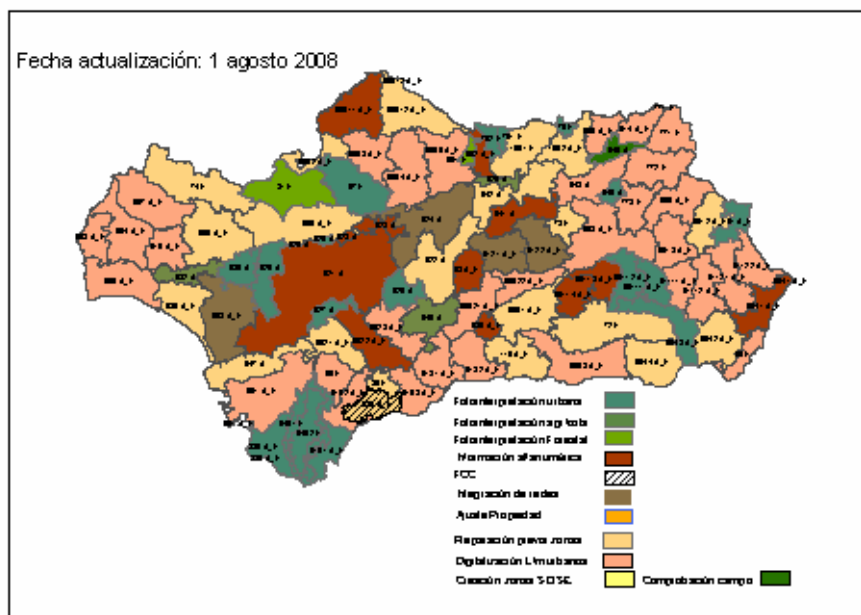


Figura 12. Situación actual SIOSE Andalucía

Como resultado final se obtendrán dos productos: SIOSE Andalucía, a mayor escala de detalle, de forma que quede adecuadamente representada la complejidad biogeográfica andaluza, y SIOSE nacional, obtenido a partir del anterior de forma asistida mediante procesos automáticos y/o semiautomáticos.

Ambos productos a su vez son compatibles entre sí, cumplen los requerimientos exigidos por la normativa de la Unión Europea y podrán perpetuarse en el tiempo a través de las actualizaciones periódicas, de esta manera tendremos un único Sistema de Información de Usos de Suelo armonizado, homogéneo, actualizado y a escala de detalle.

CONCLUSIONES

El proyecto SIOSE en Andalucía se configura como una iniciativa que traslada los principios del proyecto SIOSE España a nivel de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Las peculiaridades del proyecto, se ajustan a las necesidad de disponer de un sistema de información de usos y ocupación del suelo que sea único para la administración pública y útil en la gestión del territorio, lo cual implica un aumento en la escala de interpretación territorial (1:10.000), un incremento en los niveles de leyenda utilizados (con casi 200 niveles), y un ajuste a los límites del parcelario catastral. Igualmente implica la modificación de diversas iniciativas de inventarios territoriales que son elaborados en el contexto de la Comunidad Autónoma y un compromiso de actualización continua por la administración andaluza a partir de este primer SIOSE Andalucía.

Tanto los procedimientos de trabajo, como los manuales de interpretación y la generación de herramientas para hacer posible el proyecto, han tenido que ser reelaborados y adaptados a las especificaciones comentadas anteriormente, si bien se asegura, mediante procedimientos semiautomáticos la compatibilidad absoluta con los requerimientos del proyecto SIOSE España.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Instituto Geográfico Nacional (2007): *Sistema de Información de ocupación del suelo de España (SIOSE), Manual de Fotointerpretación Versión 1.2. (Documento de trabajo)*. Ministerio de Fomento.

Moreira Madueño, J.M. et al. (2007): *Mapa de Usos y Coberturas Vegetales del Suelo de Andalucía, Escala 1:25.000 Guía Técnica*. Junta de Andalucía.

Junta de Andalucía (2007): *Mapa de Usos y Coberturas Vegetales del Suelo de Andalucía, Escala 1:25.000 (DVD)*.

Consejería Medio Ambiente de la Junta de Andalucía: *Proyecto SIOSE en Andalucía*: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/>

Rubio Díaz, José Antonio y García Llamas, Santiago M^a (2008): INTERGRAPH – Control de calidad SIOSE con GEOMEDIA. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial (Jornadas Técnicas)*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 954-959. ISBN: 978-84-96971-53-0.

INTERGRAPH - CONTROL DE CALIDAD SIOSE CON GEOMEDIA

Rubio Díaz, José Antonio y García Llamas, Santiago M^a

Intergraph, España. Gobelos 47-49 28023 Madrid. Email: jose.antonio.rubio@intergraph.com, santiago.garcia@intergraph.com

RESUMEN

Intergraph España lleva más de 25 años en el mundo de los Sistemas de Información Geográfica. Nuestra presencia en el sector de la Administración Pública ha sido una constante desde los inicios, y en concreto dentro del IGN la relación no solamente ha sido de proveedor tecnológico sino de colaboración estrecha en muchos de sus proyectos.

Uno de estos proyectos en el cual la colaboración ha sido mas estrecha, es el SIOSE, desarrollando una herramienta para el registro de la información y una herramienta para el Control de Calidad solicitada por Tragsatec encargada de realizar esta tarea.

La información registrada de las coberturas de ocupación del suelo del proyecto SIOSE debe tener varias características, geométricas y semánticas, cuyo cumplimiento permitirá la posibilidad de disponer de una información coherente y uniforme, obteniendo resultados posteriores con unas condiciones de partida conocidas.

En el proyecto SIOSE hay dos tipos de controles, globales, que son realizados sobre la totalidad de la información recogida, y estadísticos, realizados sobre una muestra significativa y aleatoria de los mismos, y ambos pueden ser geométricos y semánticos. El error más peligroso, y que se evita con estos controles, es el error sistemático que puede dar lugar a resultados muy alejados de la realidad que se intenta reflejar.

ABSTRACT

Intergraph España is over 25 years in the Geographic Information Systems market. We have been from the very beginning in the Government area and precisely in the IGN our relationship has not only been as a technological provider but close collaboration in many projects.

One of the projects in which our collaboration has been closer is SIOSE, developing a tool for information registry and a Quality Control tool asked by Tragsatec which is going to do this task.

The registered information of the land occupation coverage of the SIOSE project must have several characteristics, geometrics and semantics, and the fulfilment of them will allow you to have coherent and standardized information, having then results with a known conditions

In the SIOSE project there are two types of controls, global which are achieved on the total information picked and the statistics which are achieve on a significant and fortuitous sample, both of them can be geometric and semantic. The most dangerous error, and you can avoid it with this controls, is the semantic error that can have results far from the real ones.

INTERGRAPH ESPAÑA. PROCESOS DE LA HERRAMIENTA DE CONTROL DE CALIDAD GEOMÉTRICO Y SEMÁNTICO DE LOS DATOS DE SIOSE EN GEOMEDIA

INTERGRAPH España lleva más de 25 años liderando los Sistemas de Información Geográfica en los sectores de aplicación de los mismos. De las dos divisiones que la componen, es la de Seguridad, Gobierno e Infraestructuras (SG&I) la mas implantada a nivel Nacional.

Son muchas las referencias en los sectores de Gobierno (local, autonómico o Central) tanto a nivel nacional como internacional, desde los inicios de la era gráfica, allá por los albores de los 70 hasta nuestros días, donde el PC es un pequeño electrodoméstico mas.

Finalmente, no podemos si no más que agradecer al Ayuntamiento de Las Palmas (GeoSistemas) su fidelidad como Cliente, ya que contamos con su confianza desde hace más de 10 años y esperamos mantener por muchos mas.

A continuación se muestran algunas de estas referencias.



Figura 1. A la izquierda Geoportal del Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria. A la derecha SIG Corporativo de Producción Cartográfica del Instituto Geográfico Nacional.

Entrando ahora en el detalle de nuestra presentación de hoy, vamos a explicar como y por qué surge la herramienta de Control de Calidad.

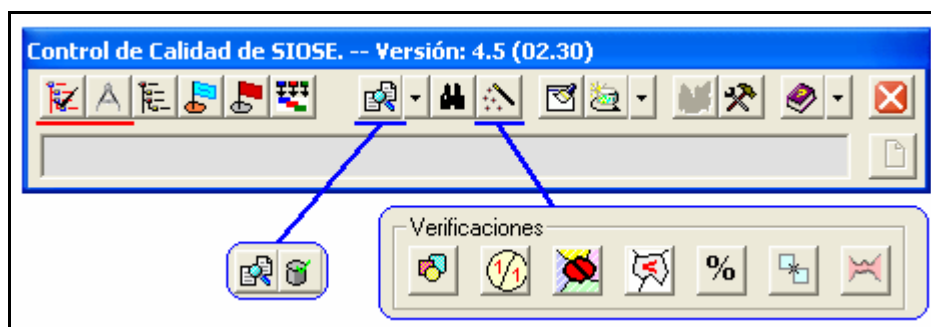
Inicios de la herramienta

Durante el desarrollo a lo largo del 2006 y 2007 del comando de ayuda para el registro de información se incluyeron una serie de herramientas específicas para controlar que y como se iba realizando el registro de información, posteriormente, en el segundo semestre del 2007, Tragsatec nos solicita completar el desarrollo de la herramienta para el proceso propio de control de calidad y ajustar los ya existentes, principalmente para generar informes e incluir información en una tabla de Control de Calidad que permite posteriores análisis de los errores, mientras que otros son propios del proceso de control de calidad.

Algunos de estos controles son posibles simplemente con el producto base, GeoMedia, sin embargo su ejecución puede implicar procesos largos y complejos y en muchos casos repetitivos, lo que provoca cansancio y errores. El objetivo de la herramienta es facilitar estos procesos automatizándolos en lo posible y en otros casos facilitando los datos para el posterior análisis de los mismos por los operadores.

Procesos del control de calidad

Los controles que se realizan se agrupan en dos categorías: globales (Identificadores; coberturas; huecos-solapes; duplicados; vecinos; área; porcentajes y pasillos – en azul) y estadísticos (semánticos y geométrico - en rojo).



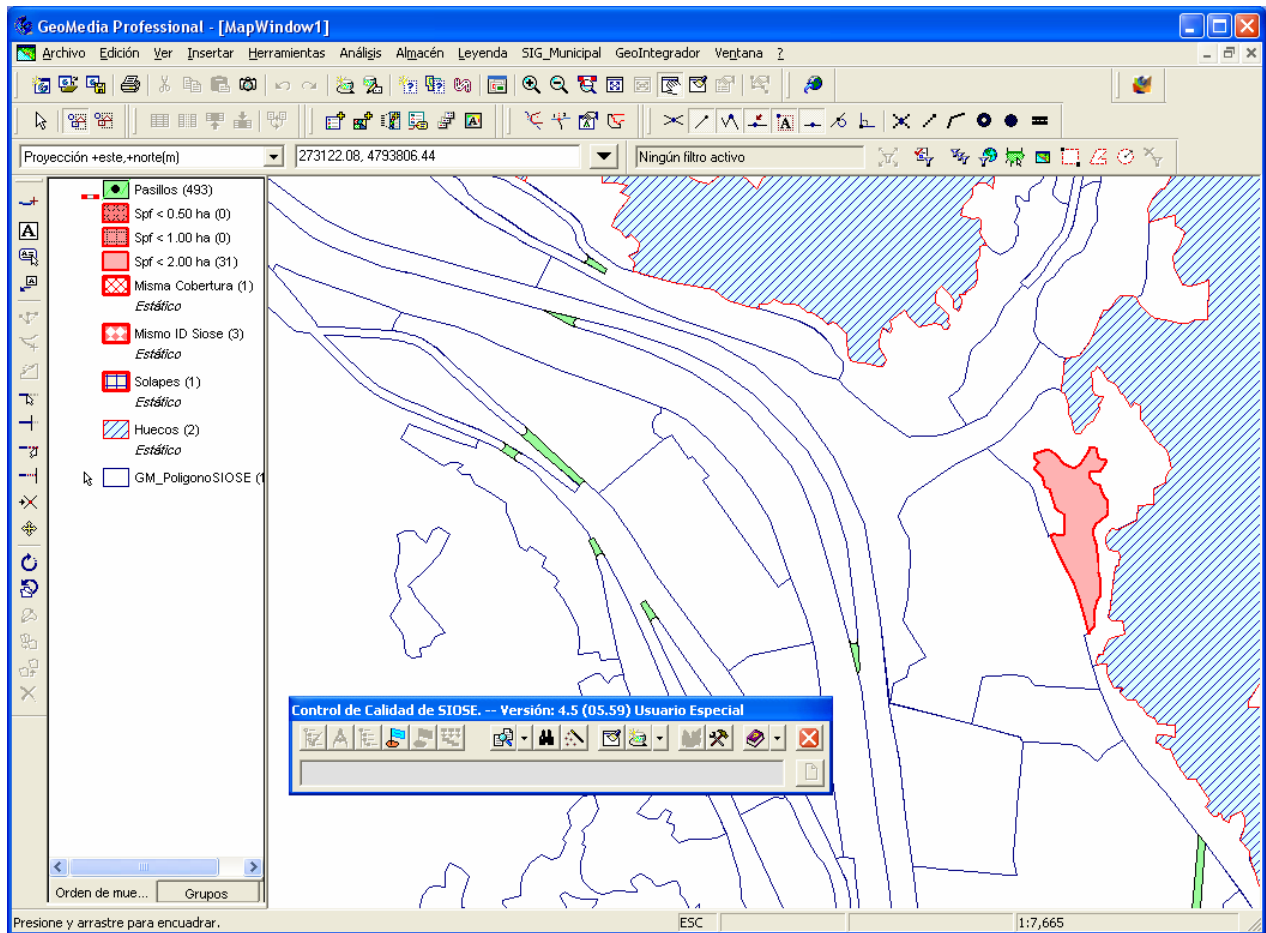
El primer control se realiza durante la importación de los datos, verificando que la estructura y consistencia de los mismos es correcta: tienen identificadores SIOSE, tienen geometría, las relaciones entre tablas son correctas.

Procesos para controles globales

Estos son controles que se realizan sobre la totalidad de la información registrada y pueden ser geométricos, semánticos o estructurales:

- Polígonos sin cobertura.
- Coberturas sin polígonos. En general son debidos a operaciones SIG (borrado de polígonos, fusión de polígonos) o manipulaciones desde fuera de la aplicación de la base de datos.
- Huecos y Solapes. Solo se admiten huecos en entregas parciales. Es debido a un incorrecto registro de la información geométrica.
- Polígonos con la misma clave. Producido por una incorrecta manipulación de los polígonos, como algo independiente de su cobertura.
- Polígonos colindantes con la misma cobertura. No son permitidos por las normas.
- Polígonos con una superficie inferior a cierto valor.
- Porcentajes de coberturas. La suma de los porcentajes debe ser 100%.
- Porcentajes con decimales.

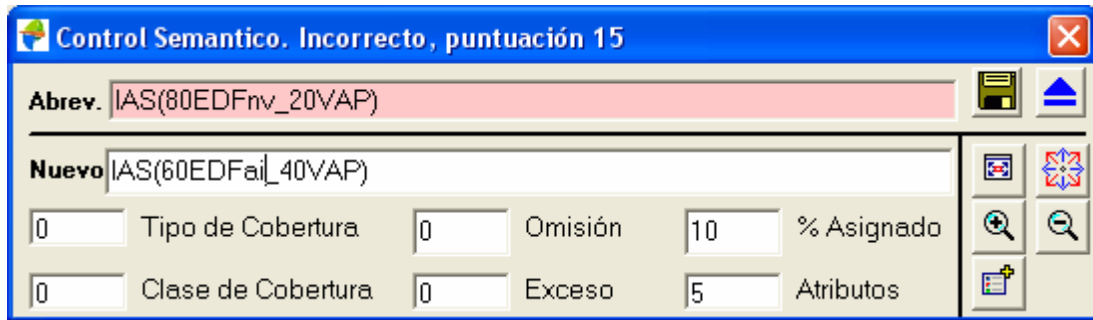
- Coberturas simples repetidas.
- Asociaciones y mosaicos de un único elemento.
- Separación entre puntos consecutivos del perímetro.
- Localización de pasillos. Se han desarrollado varios algoritmos de localización de pasillos: Diferencia de área tras contraer y expandir la geometría; Restar a la geometría original la obtenida por el proceso anterior; o distancia mínima entre vértices no consecutivos.



Procesos estadísticos

Estos son controles que se realizan a una muestra significativa de la información registrada y pueden ser geométricos o semánticos:

- Semántico: el operador revisa la definición de la cobertura dando puntuaciones para cada uno de los posibles errores. Si supera cierto valor se indica un fallo en la cobertura.

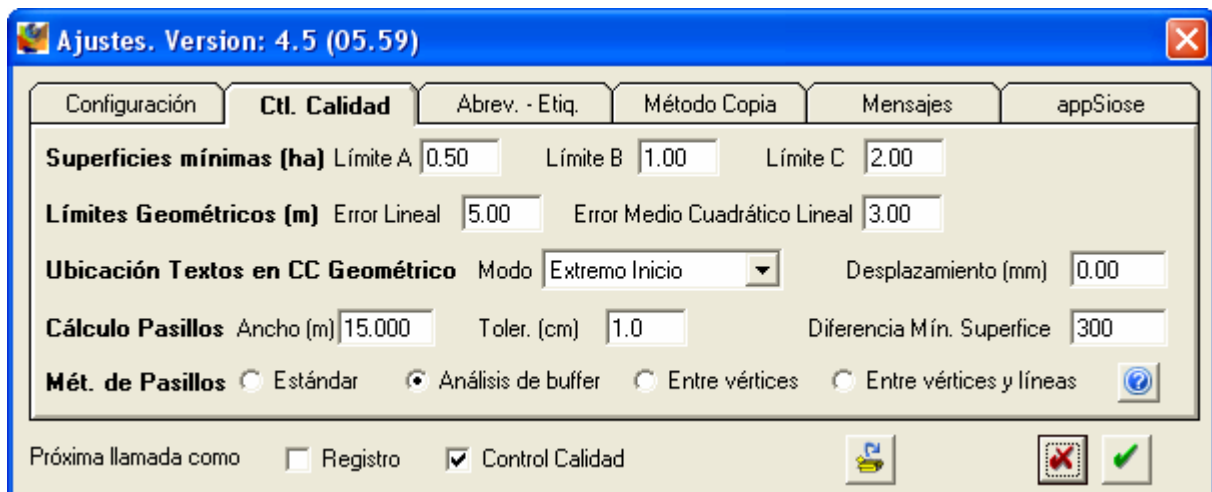


- Geométrico: el operador define pares de puntos y se calculan los errores máximo y medio cuadrático. Si supera cierto valor se indica un fallo en la geometría.

Índ.	Usado	Cent.	Polígono		SPOT		Errores		
			Coord X	Coord Y	Coord X	Coord Y	XR	YR	EL
1	<input checked="" type="checkbox"/>		273898.73	4793298.96	273900.82	4793301.47	-2.09	-2.51	3.26
2	<input checked="" type="checkbox"/>		273679.20	4793600.07	273681.80	4793601.61	-2.60	-1.54	3.02
3	<input checked="" type="checkbox"/>		273790.05	4793690.28	273790.40	4793688.97	-0.35	1.30	1.35
4	<input checked="" type="checkbox"/>		273865.92	4793629.63	273864.65	4793629.79	1.27	-0.16	1.28
5	<input checked="" type="checkbox"/>		273983.32	4793441.18	273982.93	4793439.95	0.39	1.23	1.29

Ajustes de los controles

La gran mayoría de los parámetros de los controles son ajustables para soportar futuros cambios u otros análisis.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Equipo Técnico Nacional (2007): *Manual de Control de Calidad (Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España)*. S.G. de Producción Cartográfica (IGN)

Equipo Técnico Nacional (2007): *Instrucción Técnica nº 1: Definición detallada de estrangulamientos no permitidos en los polígonos SIOSE*. S.G. de Producción Cartográfica (IGN)

Tortajada Martínez, Rafael y Echamendi Lorente, Pablo (2008): SISAL 21: Sistema transfronterizo de indicadores de sostenibilidad para agendas locales 21. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorio (Jornadas Técnicas)*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 960-970. ISBN: 978-84-96971-53-0.

SISAL 21: SISTEMA TRANSFRONTERIZO DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD PARA AGENDAS LOCALES 21

Tortajada Martínez, Rafael¹ y Echamendi Lorente, Pablo²

(1) Jefe de la Sección de Medio Ambiente Urbano del Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente, Gobierno de Navarra; Avda. del Ejército, 2, 31002 Pamplona; tortajm@cfnavarra.es

(2) Departamento de Sistemas de Información Territorial, Trabajos Catastrales, S.A.; Ctra. El Sadar s/n, Edificio "El Sario", 31006 Pamplona; pechamendi@tracasa.es

RESUMEN

El proyecto SISAL 21 se enmarcó dentro del programa europeo INTERREG III A Francia/España 2000-2006, subvencionado por el FEDER. Participaron las siguientes regiones: Navarra, Gironde, Bidasoa-Txingudi y el Ayto. de Hendaya. La empresa Trabajos Catastrales, S.A. figuró como socio tecnológico.

Este proyecto, cooperativo e integrador, tuvo como objetivo principal la creación de un sistema común transfronterizo para la recogida, gestión y difusión de Indicadores de Sostenibilidad Local. Para ello se realizó una comparación y homogeneización de los indicadores recogidos en las Agendas Locales 21 de los diferentes socios buscando la definición de un núcleo común para todas las regiones participantes. Dada la dispersión geográfica de los gestores, se diseñaron posteriormente unas herramientas para la carga y el mantenimiento de los datos a través de Internet.

Todo este trabajo ha visto la luz con la publicación de la página web <http://www.sisal21.org>. Esta página, entre otras cosas, incluye un visor cartográfico que permite consultar la distribución espacial de los indicadores comparando unas regiones con otras, así como otras utilidades adicionales que ayudan a interpretar la evolución de la sostenibilidad en cualquiera de las regiones del proyecto.

Palabras Clave: Desarrollo territorial Sostenible, Indicadores de sostenibilidad Local, Agendas Locales 21, Medio Ambiente Urbano; Gestión Local Sostenible: Gobernanza.

ABSTRACT

The project SISAL 21 is framed inside the European program INTERREG III A France/Spain 2000-2006, subsidised by the FEDER and in which are participating the following regions: Navarra, Gironde, The Bidasoa-Txingudi Consortium and the Council of Hendaya. The public company Trabajos Catastrales S.A., is also amongst the participants, as a technology partner.

The principal aim for this cooperative and integrative project was the creation of a common cross-border system for the management and diffusion of Indicators of Local Sustainability. For it a comparison and homogenization of the indicators picked up in the Local Agenda 21s of the different partners was realized looking for the definition of a common core for all the regions participants. Given the geographical dispersion of the managers, a few tools were designed later for data loading and updating using Internet.

The results obtained are presented in the portal SISAL21 <http://www.sisal21.org>. This page, among other things, includes a cartographic viewer that allows to consult the spatial distribution of the indicators comparing a few regions with others, as well as other additional utilities that help to interpret the evolution of the sustainability in any of the regions of the project.

Keywords: Territorial Sustainable development, Indicators of Local sustainability, Local Agendas 21, Urban Environment; Local Sustainable Management.

INTRODUCCIÓN

El impulso a los cambios no siempre viene desde instancias superiores, sino que son los pueblos, ciudades, y otras entidades locales, los agentes más importantes. Para realizar grandes cambios a nivel global, es necesario actuar a escala local.

SISAL 21 trabaja dentro de este contexto. SISAL 21 es el acrónimo de “Sistema de Indicadores de Sostenibilidad para Agendas Locales 21” Se trata de un proyecto europeo orientado a promover la cooperación de entidades locales a nivel transfronterizo a favor del desarrollo sostenible, utilizando para ello las Agendas Locales 21.

ANTECEDENTES

A escala internacional, la Agenda Local 21 es un plan impulsado por las Naciones Unidas para el desarrollo sostenible en el siglo XXI, aprobado por 173 gobiernos en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro de 1992.

Consecuencia directa de la Cumbre de Río es la aparición de las llamadas Agendas Locales 21, que en Europa reciben un fuerte impulso tras la conocida “Carta de Aalborg”, nacida en esta ciudad danesa, durante la Conferencia Europea de Ciudades y Pueblos Sostenibles de 1994. En dicho documento, las entidades locales se comprometen a elaborar e implementar Agendas Locales 21 con el objetivo de impulsar la sostenibilidad a escala local. Los compromisos de Aalborg+10 revisaron y reforzaron estos principios. En consecuencia, las Agendas Locales 21 se han convertido en la herramienta de referencia de la gestión local para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible expuestos en Río y Aalborg.

El proceso de aplicación de una Agenda Local 21 comienza identificando de forma integrada las áreas de mejora y los puntos fuertes que tiene una localidad, gracias a la participación de la ciudadanía. Tras realizar el diagnóstico, se establecen los objetivos que se quieren alcanzar, que se plasman en proyectos de actuación que se integran en el Plan de Acción Local. La ejecución de dicho plan va acompañada de la evaluación y el seguimiento de los resultados.

Para medir el Desarrollo Sostenible es fundamental crear un Sistema de Indicadores de Sostenibilidad. Un indicador es una medida en el tiempo de las variables de un sistema que nos dan información sobre aspectos concretos del mismo que nos interesa analizar. Pueden estar compuestos simplemente por una variable (número de reuniones de la Agenda Local 21) o por un grupo de ellas, como por ejemplo la superficie de zona verde por habitante, y también pueden encontrarse interrelacionadas formando índices complejos, como los índices económicos (Antequera, 2005)

La construcción de un sistema de indicadores de sostenibilidad implica un proceso de reflexión científico-técnica para definir cuáles son los parámetros que poseen un valor de representación óptima para cuantificar los procesos relacionados con el desarrollo sostenible (Velasco et al., 2005). Además, los indicadores ambientales deben reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente e insertarla en el proceso de toma de decisiones (MMA, 2001). Con ellos, se detecta la situación de partida de un municipio y se puede medir su evolución respecto a los principios deseables de sostenibilidad de una zona concreta. Con los indicadores también se puede ver el éxito o no de las medidas previstas en el Plan de Acción Local, y tantear el grado de implicación de los agentes económicos y sociales en la iniciativa.

La experiencia previa de Navarra

Navarra, de un tiempo a esta parte, ha experimentado un avance en la gestión de las Agendas Locales. Como consecuencia del gran volumen y heterogeneidad de la información relativa a los indicadores de sostenibilidad que se había ido generando con el paso del tiempo, se efectuó una importante labor de recopilación y homogeneización. A la vez, se sistematizaron los procedimientos de recogida y carga de datos con el objeto de mejorar y permitir un adecuado mantenimiento y actualización de los datos dando origen a lo que es conocido como el Sistema de Indicadores de Sostenibilidad de Navarra (SISNA) <http://agendalocal21.navarra.es/>.

Este proyecto cumplió con los siguientes objetivos: Diseñar un sistema para la valoración del grado de incidencia de las políticas medioambientales en el ámbito local; definir un modelo de datos adecuado para Indicadores de Sostenibilidad; establecer un procedimiento para la entrada de la información en el Sistema y su mantenimiento a través de una aplicación de carga; integración de los datos en herramientas GIS corporativas y desarrollo de nuevas prestaciones; difusión en la Web de los Indicadores de Sostenibilidad.

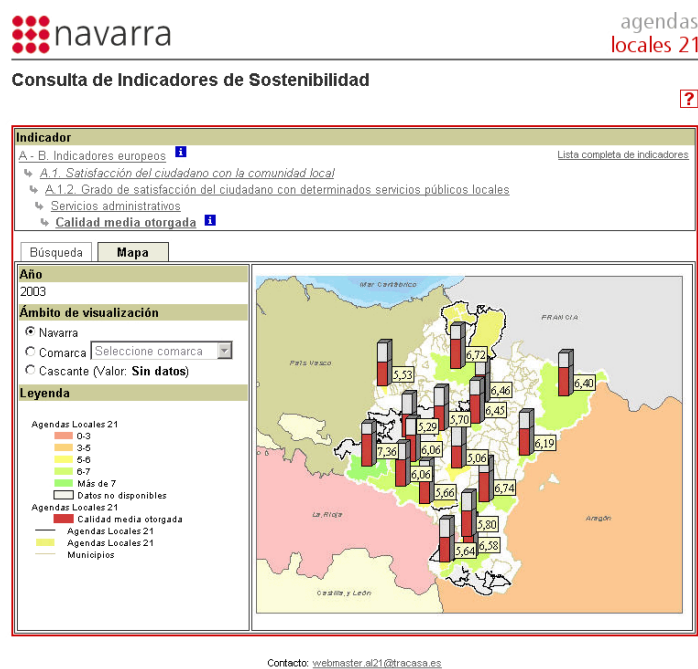


Figura 1. Web para la consulta de Indicadores de Sostenibilidad de Navarra.

EL PROYECTO SISAL21: ZONA DE ESTUDIO

El proyecto SISAL21 se enmarcó dentro del programa europeo INTERREG IIIA Francia / España 2000-2006, subvencionado por el FEDER y en él participaron activamente las siguientes regiones: Navarra, Gironde, Consorcio Bidasoa-Txingudi y el Ayto. de Hendaya. También participaron las empresas públicas del Gobierno de Navarra Trabajos Catastrales, S.A. y Gestión Ambiental, Viveros y Repoblaciones de Navarra, la primera como socio tecnológico y la segunda como jefe de filas.

SISAL21 pretendía integrar la información de las distintas Agendas Locales 21 de las regiones participantes de España y Francia. Dichas regiones habían mostrado un compromiso real por la consecución de sus respectivas Agendas Locales 21. Sin embargo, hasta ese momento, su aplicación había tenido un impacto muy desigual a ambos lados del Pirineo.

En SISAL21 se crea una herramienta de trabajo común entre municipios de regiones limítrofes, basada en criterios comunes de cálculo, para que se puedan disponer de datos homogéneos y comparables entre una región y otra. Crear herramientas de trabajo comunes entre regiones limítrofes permite establecer comparativas Interregionales así como políticas e iniciativas comunes y abre la posibilidad de establecer fructíferas cooperaciones, en aras de alcanzar la deseada sostenibilidad de nuestras ciudades y regiones y permitir la participación de todos los protagonistas locales, sin olvidar a la ciudadanía.

SISAL21 presenta dos características originales y propias como son la municipalidad de su ámbito territorial y la transferibilidad de su aplicación. En este sentido, los resultados obtenidos pueden ser perfectamente adoptados por otras autoridades locales. Las herramientas de Indicadores Locales de sostenibilidad que se crea-

ron en el proyecto así como el diseño general del Sistema son completamente aprovechables por cualquier otra administración interesada.

En resumen, podríamos decir que este proyecto ha desarrollado metodologías y herramientas que, sobre la base del análisis de unos Indicadores de Sostenibilidad Ambiental, ayudarán a alcanzar una mayor sostenibilidad en nuestras ciudades y regiones.

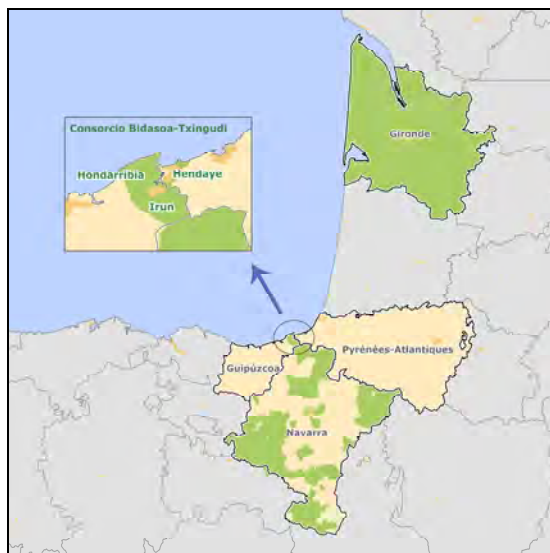


Figura 2. Socios del proyecto SISAL 21.

OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto fue promover la cooperación de entidades locales a nivel transfronterizo a favor del desarrollo sostenible, brindar apoyo para la emergencia de las Agendas Locales 21 en las administraciones municipales y supra municipales (comarcas, mancomunidades, diputaciones, valles, etc.) y favorecer un seguimiento medio ambiental de su elaboración. También se pretendió recoger y divulgar las buenas prácticas y las experiencias satisfactorias en las administraciones locales de ambos lados del Pirineo relacionados con la puesta en marcha de la Agenda Local 21 para darles un valor añadido y aprender de ellas. Había en el proyecto un claro interés en contribuir a la formación e implicación activa de autoridades públicas locales y personal técnico municipal, agentes ambientales, sociales y económicos públicos y privados y ciudadanos en general en la consecuencia de los objetivos integrados en la Agenda Local 21.

Todo esto se plasmaría en poner a disposición de los ayuntamientos y actores locales una herramienta, accesible a través de Internet y de sencilla utilización, que apoyara el desarrollo de acciones sostenibles y que ayudara a las administraciones locales en la elaboración de sus Agendas Locales 21. Para ello, dicha herramienta debería ser capaz además de comparar indicadores y datos entre Agendas y regiones de forma sencilla.

METODOLOGÍA

Sin ánimo de ser exhaustivos, hacemos en este apartado, un breve resumen de la metodología seguida deteniéndonos posteriormente en el siguiente apartado a explicar los resultados más relevantes de este trabajo. Estas son las distintas fases del trabajo y el objetivo de cada una de ellas

Resulta conveniente en proyectos de este tipo la realización de una fase inicial de análisis de la situación que permita conocer el grado de avance y desarrollo de todos los socios implicados que facilite la tarea poste-

rior. En consecuencia, se dedicaron los primeros esfuerzos a conocer en profundidad la situación real de partida en cuanto a Indicadores de Sostenibilidad que existía en la zona de estudio.

Realizado este pre-análisis, se procedió, en una segunda fase, a la confección de una lista común de Indicadores de Sostenibilidad que debía ser utilizada posteriormente por todos los socios. De esta forma, los datos de las cuatro regiones serían después comparables. Hubiera sido deseable que las fuentes de información fueran también siempre las mismas para asegurar una óptima comparación interregional entre los datos pero, evidentemente, esto no fue posible al tratarse de administraciones tan distintas entre sí.

A continuación se llevó a cabo la siguiente fase del proyecto, el diseño y desarrollo de un sistema para la gestión de datos. Este sistema debía cumplir con la premisa de que cada región pudiera introducir y gestionar, utilizando Internet, sus propios datos directamente en la base de datos de indicadores SISAL21. Se prepararon también unas herramientas de control de calidad para asegurar la integridad de esos datos.

El paso final fue el diseño y desarrollo de una Web temática para la difusión y el análisis de información de la información disponible.

Gráficamente, la metodología seguida se observa en la siguiente figura.

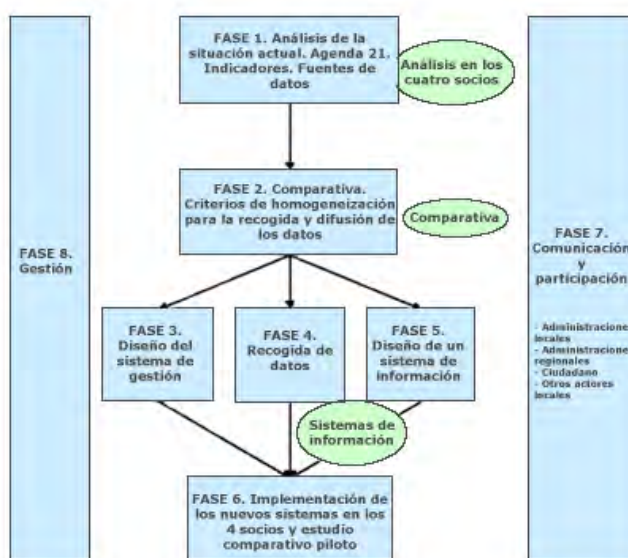


Figura 3. Metodología del proyecto

RESULTADOS DEL PROYECTO

Comparativa y criterios de homogeneización: Núcleo de Indicadores de Sostenibilidad SISAL 21

Para llegar a la elección del conjunto de indicadores de referencia sobre el que basar la comparación se partió de que la referencia para el resto de socios sería la de Navarra, por el largo recorrido que ya había tenido y por su mayor grado de desarrollo. Estos indicadores se fueron comparando con los de las demás regiones, comprobando si existían o no, y con qué características (fuentes, unidades de medida, etc.). Este análisis resultó en un nuevo listado de indicadores, agrupados por categorías temáticas, que o bien ya se estaban recogiendo o bien se estaba en condiciones de hacerlo, por al menos dos de los socios. En la siguiente tabla se incluye el listado completo. La definición de los mismos así como las fórmulas para su cálculo, se pueden consultar en la siguiente dirección: <http://www.sisal21.org/indicadores.aspx>.

Tabla 1. Núcleo de indicadores SISAL 21

1. ASPECTOS ESTRUCTURALES	
1.1. Población	1. Tasa de crecimiento poblacional
	2. Caracterización de la población
1.2. Medio económico y laboral	3. Tasa de población activa
	4. Tasa de población ocupada
	5. Paro
	6. Tasa de empleo por cada 1.000 habitantes
1.3. Caracterización de los servicios e infraestructuras locales	7. Existencia de zonas verdes públicas y de servicios locales
	8. Utilización sostenible del suelo
	9. Accesibilidad social a la oferta residencial
	10. Rehabilitación del parque residencial municipal
	11. Metros de red viaria peatonalizada y ciclista y metros por habitante
1.4. Movilidad y Transporte	12. Movilidad local y transporte de pasajeros
	13. % de desplazamientos de escolares < 16 años entre casa y la escuela según modo de transporte
	14. Densidad de automóviles en el espacio urbano
	15. Nivel de motorización
1.5. Gestión, organización y sensibilización ambiental	16. Gestión sostenible de la autoridad local y de las empresas locales
	17. Productos que fomentan la sostenibilidad
	18. Gasto municipal en medio ambiente por habitante
	19. Ratio de autonomía financiera
	20. Nº Campañas de educación ambiental promovidas por la AALL
2. VECTORES AMBIENTALES	
2.1. GEA y medio biótico	21. Porcentaje de superficie agrícola ecológica/integrada
	22. Porcentaje de superficie forestal
	23. Índice de biodiversidad faunística
	24. Recuperación de espacios naturales protegidos
2.2. Agua	25 Consumo de agua de la red de abastecimiento municipal
	26. Eficiencia del sistema de abastecimiento de agua potable
	27. Gestión de las aguas residuales
2.3. Energía	28. Consumo eléctrico del sector doméstico
	29. Consumo energético del alumbrado público
	30. Uso de las energías renovables
2.5. Residuos Urbanos	31. Generación de Residuos Sólidos Urbanos
	32. Recuperación de Residuos Sólidos Urbanos
3. PARTICIPACIÓN CIUDADANA	
3.1. Satisfacción del ciudadano	33. Satisfacción del ciudadano con la comunidad local
3.2. Asociacionismo	34. Asociacionismo
3.3. Campaña de información	35. Reuniones anuales del Foro de la Agenda 21 Local

Sistema de gestión de datos

Una vez definidos los indicadores, sus definiciones y fórmulas de cálculo, se puso a disposición de los socios del proyecto, una herramienta Web de carga y gestión de Indicadores de su región. El usuario, una vez identificado, accede a los datos de su región y proceder a modificar los valores correspondientes. La información es almacenada automáticamente una vez se pasa de un registro a otro quedando almacenada en una base de datos SQL Server. Un sistema de control de calidad asegura la integridad de los datos según una serie de criterios limitando, en la medida de lo posible, errores en la introducción.

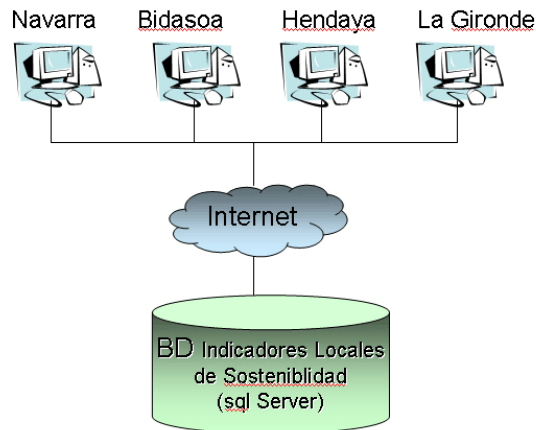


Figura 4. Arquitectura del sistema de recogida y gestión de datos

SISAL21 Sistema de Indicadores de Sostenibilidad de las Agendas Locales 21

Carga de datos por Ámbito

Filtro por año: 2004 [Aplicar]

Filtro por Ámbito: [Ocultar]

Hendaye (*)

Hendaye (*) - 2004

A. B Indicadores agrupados

A.1 Satisfacción del ciudadano con la comunidad local

A.1.1 Grado de satisfacción del ciudadano por vivir en el municipio - (% de encuestados)

Muy satisfecho Satisfecho Poco satisfecho Nada Satisfecho NS/NC

A.1.2 Grado de satisfacción del ciudadano con determinados servicios públicos locales

Servicios sanitarios

Grado de satisfacción - (% de encuestados)

Muy satisfecho Satisfecho Poco satisfecho Nada Satisfecho NS/NC

Servicios educativos

Grado de satisfacción - (% de encuestados)

Muy satisfecho Satisfecho Poco satisfecho Nada Satisfecho NS/NC

Servicios de seguridad (Policía Local)

Figura 5. Aspecto de la aplicación para la gestión de los datos.

El portal SISAL21

La Web SISAL21 es una herramienta de referencia del sistema de información. Proporciona a sus usuarios el marco general y los objetivos del proyecto e integra el módulo de gestión de los datos descrito en el punto anterior, al que sólo se puede acceder mediante una verificación por usuario y contraseña. Permite la representación de los datos mediante un visualizador de cartografía temática e incluye un sistema de búsquedas y análisis avanzados.



Figura 6. Página principal del portal

Los datos de las diferentes Agendas Locales de las regiones se pueden consultar a través de un visualizador de mapas especificando previamente una búsqueda. La visualización de la cartografía temática puede realizarse por ámbito SISAL21, por socio o por municipio, permitiéndose en todo momento la libre navegación por parte del usuario a través de las herramientas *zooming* y *panning* convencionales. Tecnológicamente se ha publicado un servicio de mapas que genera en tiempo real, previa petición, una imagen con el mapa solicitado por el usuario.

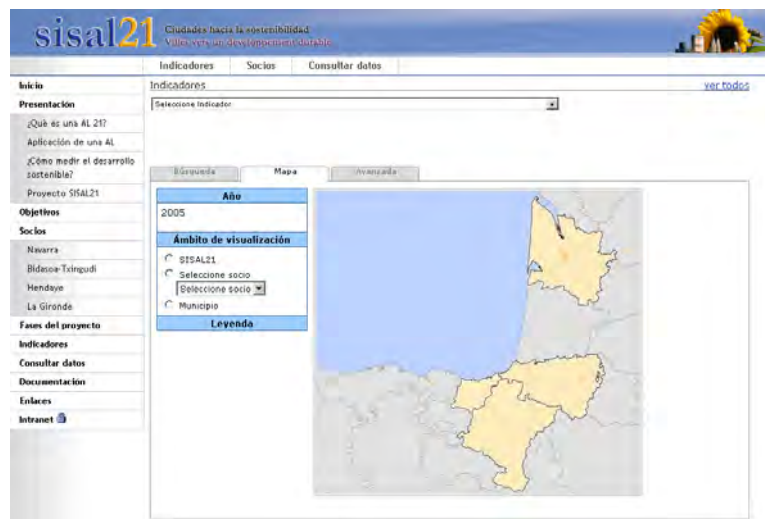


Figura 7. Visualizador de mapas

La consulta de los datos se puede realizar de varias maneras. Se pueden obtener, por ejemplo, listados alfanuméricos a partir de una serie de criterios de búsqueda (ámbito, indicador, fecha, valores que cumplen una determinada condición...). Los resultados de este tipo de búsqueda, agrupados por socio del proyecto, se muestran en una tabla expandible y ordenable. Desde este listado, es posible además, pedir directamente el mapa que se corresponde con un dato en particular o descargarse la información en un fichero Excel.

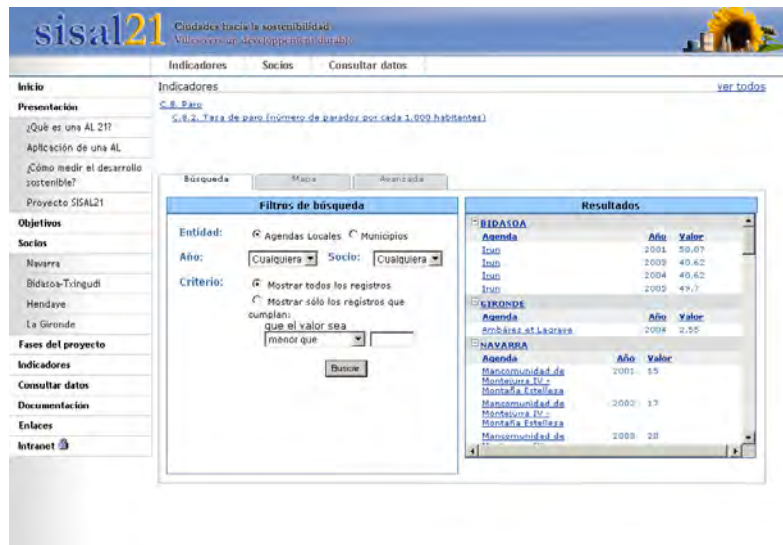


Figura 8. Consulta básica de datos

Otra posibilidad que se ofrece al usuario es realizar búsquedas avanzadas de distinto tipo que le ayudarán a comprender mejor los datos, establecer tendencias o identificar puntos fuertes y débiles. Por el momento se han desarrollado tres tipos de análisis que permiten seguir evoluciones temporales, comparar la situación en distintos lugares y diagnosticar el estado real de una Agenda Local 21 respecto a los objetivos ideales de sostenibilidad para ese territorio.

El primero de estos análisis, que llamamos de Tendencia, permite comparar la evolución de hasta cuatro ámbitos en un intervalo de tiempo determinado o en el conjunto total de años para los que existan datos. El resultado se muestra por medio de un gráfico.

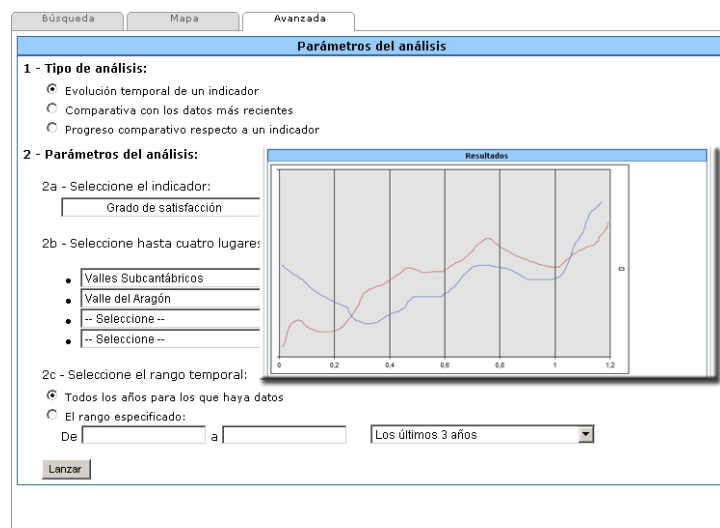


Figura 9. Consulta de evolución temporal de un indicador.

El segundo análisis, que denominamos de Situación, permite realizar una comparación de todos los Indicadores, de hasta cuatro ámbitos, mostrando los últimos datos existentes de cada indicador para cada uno de ellos en una tabla. Este análisis está motivado por la baja frecuencia de recogida de algunos indicadores, como los basados en censos, que sólo tienen valores en un año y no en el resto.

Resultados			
INDICADOR	Zizur	Irun	Hendaye
1 - Satisfacción del ciudadano con la comunidad local	13.5 (2003)	12 (2004)	13.5 (2003)
2 - Movilidad local y transporte de pasajeros	65.8 (2003)	12.6 (2004)	65.8 (2003)
3 - Existencia de zonas verdes públicas y de servicios locales	73.18 (2003)	80.2 (2004)	73.18 (2003)
4 - Porcentaje de desplazamientos de escolares < 16 años entre casa y la escuela según modo de transporte	6.6156 (2003)	10 (2004)	6.6156 (2003)
5 - Gestión sostenible de la autoridad local y de las empresas locales	7.650 (2003)	11.1 (2004)	7.650 (2003)
6 - Utilización sostenible del suelo	8.690849 (2003)	5.654 (2004)	8.690849 (2003)
7 - Productos que fomentan la sostenibilidad	8.521 (2003)	6.82 (2004)	8.521 (2003)
8 - Índice de biodiversidad faunística	-	1.5123 (2004)	-
9 - Recuperación de espacios naturales protegidos	80.089 (2006)	33.54 (2004)	80.089 (2006)
10 - Tasa de crecimiento poblacional	15.21086 (2006)	-	15.21086 (2006)
11 - Caracterización de la población	198.65409 (2006)	-	198.65409 (2006)
12 - Asociacionismo	1.6409 (2006)	-	1.6409 (2006)
13 - Tasa de población activa	0.198 (2006)	-	0.198 (2006)

Figura 10. Comparación con los datos más recientes.

El tercer análisis, que llamamos de Diagnóstico, ilustra gráficamente por medio de flechas si la situación de los indicadores de una Agenda Local están acordes o no con los objetivos planteados para la sostenibilidad de ese territorio. Compara los valores existentes para varias Agendas Locales con los de referencia en términos de idoneidad para la sostenibilidad ambiental.

Resultados			
INDICADOR	Zizur	Irun	Hendaye
1 - Satisfacción del ciudadano con la comunidad local	↗	→	↗
2 - Movilidad local y transporte de pasajeros	↗	↘	→
3 - Existencia de zonas verdes públicas y de servicios locales	↘	↗	→
4 - Porcentaje de desplazamientos de escolares < 16 años entre casa y la escuela según modo de transporte	→	↗	→
5 - Gestión sostenible de la autoridad local y de las empresas locales	→	↘	↗
6 - Utilización sostenible del suelo	↗	→	↗
7 - Productos que fomentan la sostenibilidad	→	↗	↘
8 - Índice de biodiversidad faunística	↘	→	→

Figura 11. Diagnóstico de indicadores

CONCLUSIONES

Vistos los resultados del proyecto, queremos terminar exponiendo una serie de conclusiones generales:

Los Indicadores de Sostenibilidad tienen un gran potencial para la evaluación y seguimiento de la evolución de una Agenda Local 21. La implementación de una Agenda Local no significa que todo esté ya logrado, éste no es más que el primer paso. Una buena selección de Indicadores es fundamental para seguir y evaluar el impacto de este tipo de iniciativas en la mejora efectiva de la salud medioambiental de nuestro entorno.

La mejor manera de garantizar la entrada fluida de información en el Sistema es la implementación de herramientas específicas que permitan la gestión directa de los datos de manera sencilla por parte de los técnicos locales implicados utilizando Internet. De la bondad y cantidad de la información dependerá gran parte de la calidad de los análisis posteriores.

Otra conclusión importante, que con frecuencia no se considera, es la importancia de que la información se difunda a través de herramientas especializadas pero amigables al mismo tiempo y adaptadas a los usuarios (municipios, técnicos, público en general). Estas deben permitir el acceso a los datos sin obviar la interpretación y análisis de los mismos. No olvidemos que un indicador es un elemento abstracto que, sin más información ni contexto, puede no decir nada o llevar a error a un usuario no especialista.

La última conclusión tiene que ver con el medio de comunicación y difusión del Sistema utilizado. Internet se convierte en un canal idóneo para dar a conocer los Indicadores de Sostenibilidad y así potenciar la participación social necesaria en cualquier Agenda Local 21.

REFERENCIAS

Antequera, J. (2005): *El potencial de sostenibilidad de los asentamientos humanos*:

<http://www.eumed.net/libros/2005/ja-sost/>

Ministerio de Medio Ambiente (2001): *Sistema español de indicadores ambientales: área de medio urbano*, Serie Monografías, Madrid, 90 pp.

Tortajada Martínez, R. y Echamendi Lorente P. (2006): La experiencia SISAL21: Creación de un sistema transfronterizo de Indicadores de Sostenibilidad para Agendas Locales 21. *Congreso Nacional de Medio Ambiente CONAMA*, Madrid.

http://www.conama8.org/datoscd/view_documentos_ponencias.php?id=1722&idnavegacion=

Velasco Echeverría, X.; Echamendi Lorente, P. y Fontano Ruiz, S. (2005): Indicadores de Sostenibilidad y Agendas Locales 21: Difusión en sistemas de información corporativos. *Jornada de Usuarios ESRI*, Madrid.

Web de Indicadores de Sostenibilidad de Navarra: <http://agendalocal21.navarra.es/>

Web del proyecto SISAL 21: <http://www.sisal21.org>

Vivas White, Pedro (2008): Las nuevas líneas de la política de difusión del Instituto Geográfico Nacional. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial (Jornadas Técnicas)*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 971-973. ISBN: 978-84-96971-53-0.

LAS NUEVAS LÍNEAS DE LA POLÍTICA DE DIFUSIÓN DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

Vivas White, Pedro¹

(1) Centro Nacional de Información Geográfica (IGN-CNIG). Ministerio de Fomento

RESUMEN

La importancia de la información geográfica en la sociedad actual se ha convertido en el elemento central que las nuevas tecnologías de la Información y de las Comunicaciones utilizan para referenciar sobre el territorio fenómenos sociales, físicos, tecnológicos y de ocio y así construir alrededor de él fenómenos virtuales de muy variada naturaleza. Dentro del paradigma WEB 2.0, la cartografía digital constituye la cadena de incremento y distribución de valor en la Sociedad del Conocimiento.

Tan relevante es el fenómeno que los poderes públicos han actuado con rapidez promulgando iniciativas e instrumentos legales que se han pasmado en la reciente Orden Ministerial. El día 8 de abril se publicaba en el BOE la ORDEN FOM/956/2008, de 31 de marzo, por la que se aprueba la política de difusión de la información geográfica generada por la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional. Pendiente de la Resolución de Precios que la propia OM ha de poner en marcha en esta ponencia se establecen el ámbito y alcance de aplicación de la OM y las sinergias correspondientes entre la reutilización de la Información del Sector Público (ISP), recientemente, la Directiva INSPIRE, el Real Decreto del Sistema Cartográfico Nacional, el Estatuto del Centro Nacional de Información Geográfica.

Palabras Clave: cartografía, política de uso, difusión.

ABSTRACT

The importance of the geographic information in the present society has become the central element that the new technologies of the Information and the Communications use to referenciar on the territory social, physical, technological phenomena and of leisure and thus of constructing around of him virtual phenomena of very varied nature. Within the paradigm WEB 2,0, the digital cartography constitutes the chain of increase and distribution of value in the Society of the Knowledge. So excellent it is the legal phenomenon that the powers public have acted quickly promulgating initiatives and instruments that have been pasmado in the recent Ministerial order. Day 8 of April ORDER FOM/956/2008 was published in the BOE, of 31 of March, by that the policy of diffusion of the geographic information generated by the Main directorate of the National Geographic Institute is approved. Slope of the Resolution of Prices that the own OM has to start up in this communication establishes the scope and reach of application of the corresponding OM and sinergias between the reusability of the Information of Sector Pu'blico (ISP), recently, the Director INSPIRES, the Real Decree of the National Cartographic System, the Statute of the National Center of Geographic Information

Key Words: cartography, policy of use, diffusion.

Nadie es ajeno a la importancia de la información geográfica en la sociedad actual. El dato geográfico se ha convertido en el elemento central que las nuevas tecnologías de la Información y de las Comunicaciones utilizan para referenciar sobre el territorio fenómenos sociales, físicos, tecnológicos y de ocio y así construir alrededor de él fenómenos virtuales de muy variada naturaleza. Puede decirse que sirve de eje central o elemento aglutinador que permite desarrollar las arquitecturas participativas que, de acuerdo al paradigma WEB 2.0, constituyen la cadena de incremento y distribución de valor en la Sociedad del Conocimiento. Tanto es así que al dato digital se le ha llegado a llamar el nuevo «Intel Incide».

Tan relevante es el fenómeno que los poderes públicos han actuado con rapidez promulgando iniciativas e instrumentos legales que, aún habiendo sido calificados como «audaces», no hacen sino seguir el camino y la dirección que la sociedad está marcando. En este sentido se aprobó la Directiva sobre la Reutilización de la Información del Sector Público (ISP), recientemente traspuesta al ordenamiento jurídico español por la Ley del mismo nombre; más específica respecto a la Información Geográfica es la Directiva INSPIRE (ahora en trasposición); en el ámbito de la información medioambiental es la ley 27/2006 la que regula los derechos de acceso a la información.

Ya a nivel reglamentario, la creación por Real Decreto del Sistema Cartográfico Nacional ha supuesto un hito donde los términos «interoperabilidad», «calidad», «puesta en común», «eficiencia» y «disponibilidad pública» pasan a ser los ejes de la actuación de las Administraciones en materia de conocimiento del territorio. Por otra parte, el reciente Estatuto del Centro Nacional de Información Geográfica (R.D. 663/2007), sienta las bases formales para que este Organismo, a través del cual ejerce el IGN su política de difusión, pueda llevar a cabo con total eficacia su misión adaptada a las condiciones tecnológicas y de oportunidad de la Sociedad actual.

Como culminación de este proceso, el día 8 de abril se publicaba en el BOE la ORDEN FOM/956/2008, de 31 de marzo, por la que se aprueba la política de difusión de la información geográfica generada por la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional. Su fin último es facilitar la accesibilidad a los datos geográficos y cartográficos básicos de referencia, impulsando su utilización masiva e incentivando la participación en proyectos comerciales para la generación de valor añadido.

A partir del 9 de abril, fecha de su entrada en vigor, cualquier ciudadano o empresa puede acceder gratuitamente, para su utilización no comercial, a la totalidad de los productos digitales que genera el IGN en base a sus competencias, pudiendo hacer un uso realmente amplio de la información, que alcanza incluso a su integración en sistemas de gestión interna y su publicación en Internet, siempre que se cite la propiedad del Instituto Geográfico Nacional. El solicitante únicamente tiene que asumir los costes del servicio de puesta en soporte y distribución, así como aceptar los términos de la licencia de uso libre y gratuito para usos no comerciales que a tal efecto emite el CNIG.

En el caso de las iniciativas de generación de productos comerciales de valor añadido en los que intervenga la información del Instituto Geográfico Nacional, tampoco conlleva un «precio» del dato, sino una reversión del lucro obtenido en la proporción en que intervenga el dato público; de esta forma se integra con la iniciativa privada en concepto de «aportación».

Otros aspectos considerados en la Orden son los servicios de análisis y procesamiento en línea así como la habilitación de mecanismos específicos para atender adecuadamente las necesidades en este sentido de la Administración General del Estado y de las Administraciones autonómicas y locales.

En suma, se configura un modelo, pionero en Europa, que pretende asegurar desde la base de las competencias y capacidades del IGN y bajo el principio de optimización de los recursos públicos, el mejor aprovechamiento de la información territorial oficial para el desarrollo de la sociedad española.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOE. ORDEN FOM/956/2008, de 31 de marzo de 2008, por la que se aprueba la política de difusión pública de la información geográfica generada por la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional. BOE, Madrid, pp 19138-19140.

BOE. REAL DECRETO 663/2007, de 25 de mayo de 2007, por el que se aprueba el Estatuto del Centro Nacional de Información Geográfica. BOE, Madrid, pp 24369-24374.

IGN. Boletín Informativo nº 33. Enero-Abril 2008. Nueva política de difusión de la información geográfica. IGN-CNIG, Madrid, pp1, 2.

Diario Oficial de la Comunidad Europea. DIRECTIVA 2007/2/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 14 de marzo de 2007 por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea (Inspire) del 24.4.2007. Madrid.

BOE. LEY 37/2007, de 16 de noviembre de 2007, sobre reutilización de la información del sector público. BOE. Madrid, pp 47160-47165

BOE. Directiva 2003/98/CE, de 17 noviembre, sobre Reutilización de la información del sector público. BOE, Madrid