

Capítulo 8

El formato vectorial. Análisis espacial

8.1. Introducción

Al contrario de lo que ocurre con el formato raster, el formato vectorial define objetos geométricos (puntos, líneas y polígonos) mediante la codificación explícita de sus coordenadas. Los puntos se codifican en formato vectorial por un par de coordenadas en el espacio, las líneas como una sucesión de puntos conectados y los polígonos como líneas cerradas (formato orientado a objetos) o como un conjunto de líneas que constituyen las diferentes fronteras del polígono (formato Arco/nodo).

Este formato resulta especialmente adecuado para la representación de entidades reales ubicadas en el espacio (carreteras, ríos, parcelas de cultivo) ¹. También resulta más adecuado que el raster cuando se manejan datos que suponen un valor promediado sobre una extensión de territorio que se considera homogénea, los límites de la misma pueden ser arbitrarios o no (por ejemplo estadísticas municipales, datos piezométricos en acuíferos, etc.).

Mientras que la estructura raster codifica de forma explícita el interior de los objetos e implícitamente el exterior, el formato vectorial codifica explícitamente la frontera de los polígonos e implícitamente el interior, aunque en ambos casos lo realmente importante es el interior. Esto significa que resulta fácil saber lo que hay en cada punto del territorio en un formato raster pero no en un formato vectorial, por tanto los algoritmos utilizados para las operaciones de álgebra de mapas son completamente diferentes. En general las operaciones son más difíciles y exigen mayor tiempo de computación para el formato vectorial.

Como se vió en un tema anterior, existen dos *sub-modelos lógicos* dentro del formato vectorial, el formato arco-nodo que es el más utilizado y el modelo orientado a objetos.

En el formato vectorial, además de codificar la posición de las entidades, necesitamos establecer las relaciones topológicas entre las mismas, especialmente en lo que se refiere a los mapas de polígonos. El término **topología** hace referencia, en el contexto de los SIG vectoriales, a relaciones entre los diferentes objetos para originar

¹Los mapas de isoclinas no son realmente mapas de objetos lineales sino tan sólo un modo de *representación* de una variable espacial, un modelo lógico por tanto

entidades de orden superior. Aunque los requisitos topológicos varían en función de cada implementación concreta (modelo digital o estructura de datos), básicamente son:

1. Los nodos de dos líneas en contacto deben tener las mismas coordenadas.
2. Un polígono se define, en el modelo arco-nodo, como un circuito perfecto de líneas que puede recorrerse entero empezando y terminando en el mismo punto sin pasar dos veces por la misma línea.
3. Existe un sólo identificador para cada entidad y este es único, no se repite en ninguna otra entidad.
4. Se dispone de algún modo de codificar los **polígonos isla**. Se trata de los polígonos completamente rodeados por otro polígono debiéndose *informar* al *polígono contenedor* de la existencia del *polígono isla* para tenerlo en cuenta al calcular su área.

Finalmente hay que tener en cuenta la necesidad de incorporar la información espacial o no espacial no extraíble directamente de la localización. Para ello se utiliza una base de datos temática asociada en las que una de las columnas corresponde al identificador de los objetos representados. En algunos casos se incluye información derivada de la localización (área, perímetro) en esta tabla para utilizarla en operaciones matemáticas junto con el resto de las variables, a este modo de trabajo se le llama modelo *geo-relacional*. El ejemplo más sencillo sería la simple asignación de colores para pintar los polígonos en función del valor obtenido para una determinada variable, almacenada en la base de datos, en cada uno de los polígonos (figura ??).

8.2. Modelos digitales vectoriales

Mientras que el formato raster se basa en una matriz de datos cuya codificación es, más o menos, similar en cualquier programa, uno de los problemas del formato vectorial es que el paso del modelo lógico al digital puede llevarse a cabo de modos muy diversos que dependen del programa con que se trabaje. Además el formato vectorial tiene multitud de pequeñas dificultades, como los mencionados polígonos isla, que deben codificarse de alguna manera específica.

El resultado es un gran número de problemas en la importación y exportación de mapas de unos modelos digitales a otros. Cuanto más *completo* sea el mapa (incluyendo topología y base de datos enlazadas) más difícil será el cambio de formato.

8.2.1. Modelo vectorial en GRASS

El formato vectorial de GRASS se codifica en formato arco-nodo. Al igual que ocurría en el caso del formato raster, se utilizan varios directorios para almacenar la información.

- En el directorio */dig* se almacenan los arcos o líneas, es decir conjuntos de coordenadas que definen un objeto lineal junto con la indicación de si se trata de líneas o arcos que forman polígonos (formato binario).

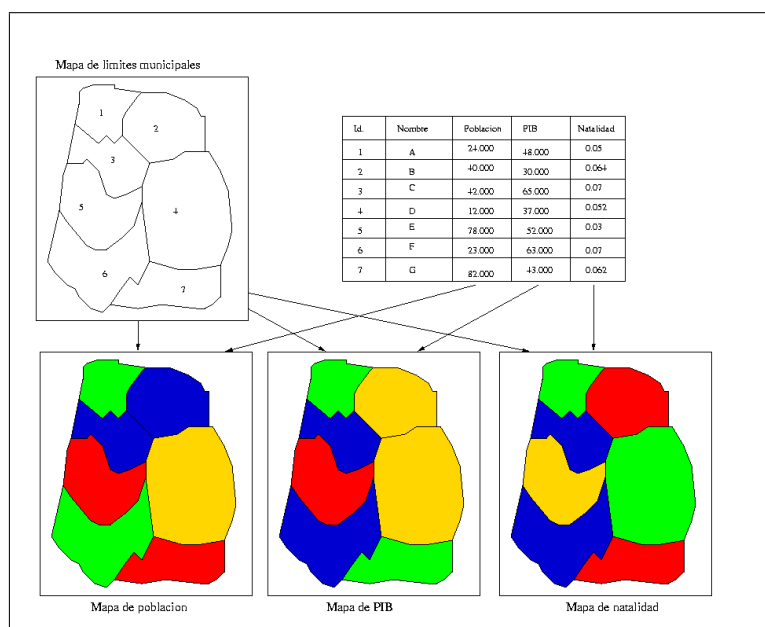


Figura 8.1: Modelo de datos georrelacional

- En el directorio **/dig_att** se almacenan los ficheros que contienen los identificadores de los objetos definidos anteriormente (formato ASCII). Cada línea consta de un par de coordenadas (dentro del polígono si se trata de una capa de polígonos o sobre la línea si se trata de una capa de líneas).
- En **/dig_cats** se almacenan ficheros similares a los de **/cats** en el modelo raster. Es decir se hacen corresponder categorías numéricas o alfanuméricas a los identificadores definidos anteriormente (formato ASCII).
- En **/dig_plus** Se guardan ficheros que contienen una versión *compacta*, en un sólo fichero, de la información definida en los ficheros almacenados en cada uno de los tres directorios anteriores, incluyendo la información topológica. Se genera con el comando **v.support** y es necesaria para cualquier tipo de consulta o análisis sobre los datos (formato binario).
- Finalmente en **/dig_ascii** se almacenan copias en formato ASCII de los ficheros que se guardan en **dig**. Facilitan la importación y exportación de ficheros aunque no permiten la inclusión de la topología.

8.2.2. Modelo vectorial en GRASS 6.0

8.3. Análisis espacial

No resulta sencillo dar una definición de análisis espacial. En la bibliografía sobre SIG suelen mezclarse bajo este término una serie de herramientas bastante diferentes:

- Manipulación de datos espaciales, las herramientas básicas de gestión de un SIG
- Análisis descriptivo y exploratorio de datos espaciales
- Análisis estadístico inferencial de datos espaciales para determinar si los resultados del análisis descriptivo verifican determinadas hipótesis acerca de los datos
- Modelización espacial con el objeto de predecir la distribución espacial de los fenómenos estudiados

Siendo algo más restrictivos, el análisis espacial incluye un conjunto de herramientas que amplían las capacidades del análisis estadístico tradicional para abordar aquellos casos en los que la distribución espacial de los datos tiene influencia sobre las variables medidas y esta se considera relevante. La georreferenciación de los datos permite manejar un conjunto de conceptos nuevos como son los de distancia (entre dos puntos), adyacencia (entre dos polígonos o dos líneas), interacción y vecindad (entre puntos).

Aunque generalmente se incluye dentro del análisis espacial el estudio de variables espaciales, las herramientas utilizadas se han visto ya en los temas de álgebra de mapas e interpolación; por tanto el resto del tema se centrará en el análisis espacial de entidades:

- La distribución espacial de entidades puntuales
- Las relaciones entre entidades lineales interconectadas (redes)
- Las relaciones entre polígonos fronterizos

8.3.1. Problemas de la estadística en el espacio

La mayor parte de las técnicas estadísticas básicas suponen graves problemas cuando intentamos aplicarlas a variables espacialmente distribuidas o medidas en individuos distribuidos en el espacio:

- Uno de los preceptos básicos de la estadística convencional es la **independencia de los elementos que componen una muestra** unos de otros. Al trabajar con datos espaciales este precepto no se cumple debido a la autocorrelación espacial. El resultado puede ser que los estadísticos resultantes aparezcan sesgados hacia los valores predominantes en los puntos muestreados. Un ejemplo extremo sería el de una tormenta de verano tan localizada que cayera entre los pluviómetros de la red del I.N.M. de manera que no se registrase nada de lluvia en estos. La precipitación media que se obtendría sería cero.

- **Efectos de escala**, los resultados pueden variar en función de la escala espacial con que se midan las variables. Por ejemplo la densidad de población varía si la medimos a escala 1:200000 (todo el poblamiento aparece agregado) o a escala 1:25000 (se tiene en cuenta la dispersión del poblamiento).
- **Efectos de borde**, muchas técnicas de análisis espacial fallan cuando aparecen fronteras al otro lado de las cuales los fenómenos son diferentes o no aparecen. Por ejemplo, si se hace un análisis del carácter agregado o disperso de los árboles en una isla, los ejemplares más cercanos a la costa tienen siempre menos árboles alrededor con lo que la distancia al más cercano será posiblemente mayor.
- **Problema de la Unidad de Area Modificable**, los resultados obtenidos a partir de valores agregados en unidades espaciales arbitrarias (por ejemplo unidades administrativas) van a depender de la configuración que adopten estas unidades².

8.3.2. Cálculos geométricos básicos

Prácticamente todos los cálculos que se llevan a cabo en un SIG vectorial se basan en la posición y las relaciones topológicas entre objetos:

1. **Distancia entre dos puntos**, en casi todos los procedimientos de análisis espacial se incluye este concepto. Aunque se han definido varios tipos de distancia, se va a trabajar fundamentalmente con la distancia euclidiana por ser la más apropiada para la realidad espacial. La distancia entre los puntos i y j es también la longitud del segmento recto entre los puntos i y j (figura ?? A).

$$d_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (8.1)$$

2. **Area del trapecio situado bajo un segmento**, se resuelve cómo la suma de las áreas del triángulo y el rectángulo bajo el segmento (figura ?? A)

$$At_{i,i+1} = (x_{i+1} - x_i)y_i + \frac{(x_{i+1} - x_i)(y_{i+1} - y_i)}{2} \quad \Big| \quad = \left| (x_{i+1} - x_i) \frac{y_{i+1} + y_i}{2} \right| \quad (8.2)$$

Hay que tener en cuenta que el resultado será positivo si $x_{i+1} > x_i$ y negativo en caso contrario. En este último caso el valor correcto es el valor absoluto de $At_{i,i+1}$

3. **Punto de corte de dos segmentos**, es aquel que resulta de resolver el sistema de que forman las ecuaciones de la recta de ambos segmentos (figura ??):

$$Y_a = AX_a + B \quad (8.3)$$

$$Y_b = CX_b + D \quad (8.4)$$

²Si un par de condados del Norte de Florida hubiesen pertenecido a Alabama o Georgia, las elecciones norteamericanas del 2000 las hubiera ganado Al Gore sin discusión

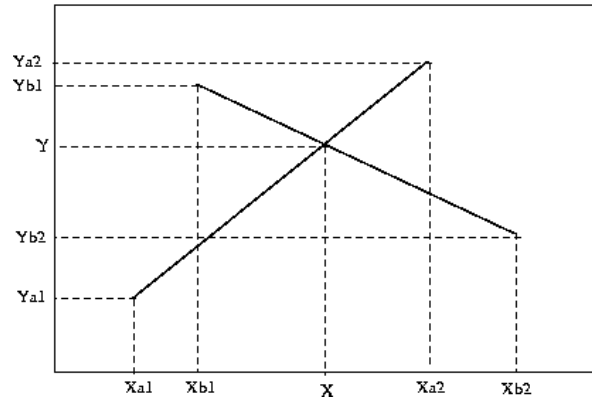


Figura 8.2: Punto de cruce entre dos segmentos

donde

$$A = \frac{Y_{a2} - Y_{a1}}{X_{a2} - X_{a1}} \quad (8.5)$$

$$B = Y_{a1} \quad (8.6)$$

$$C = \frac{Y_{b2} - Y_{b1}}{X_{b2} - X_{b1}} \quad (8.7)$$

$$D = Y_{b1} \quad (8.8)$$

si el sistema tiene solución y el punto resultado forma parte de ambos segmentos, entonces la solución nos da el punto de corte (figura ??). En realidad el sistema tiene solución siempre, salvo que los segmentos sean paralelos, por lo que es necesario comprobar que la solución forme parte de ambos segmentos a la vez y sea, por tanto, su punto de corte. Es decir hay que comprobar que X esté entre X_{a1} y X_{a2} y entre X_{b1} y X_{b2} y que Y esté entre Y_{b1} e Y_{b2} y entre Y_{a1} e Y_{a2} .

A partir de estas tres variables se puede obtener:

- **Longitud (L) de una línea**, es la suma de las distancias entre cada par de vértices consecutivos de la misma, asumiendo que la línea tiene N vértices:

$$L = \sum_{i=1}^{N-1} d_{i,i+1} \quad (8.9)$$

- **Distancia (D) en línea recta entre el inicio y el final de una línea**: es decir entre su nodo inicial y su nodo final e índice de sinuosidad (I_s)

$$D = d_{1,N} \quad (8.10)$$

$$I_s = L/D \quad (8.11)$$

- **Perímetro de un polígono** es la longitud de la línea que define el contorno del polígono.
- **Longitud máxima del polígono** puede definirse como la distancia máxima entre cualquier par de vértices en la línea que define el contorno del perímetro:

$$Lm = \max(d_{i,j}) \quad (8.12)$$

- **Área de un polígono** es el valor absoluto de la suma de todas las áreas de los trapecios bajo los segmentos que forman el polígono (figura ??):

$$A = \left| \sum_{i=1}^{N-1} At_{i,i+1} \right| \quad (8.13)$$

donde $At_{i,i+1}$ es el área bajo el segmento formado por los vértices i e $i + 1$

En la figura ?? se aprecia como el perímetro del polígono genera una serie de trapecios cuyas áreas en metros cuadrados se indican en la figura y en la tabla ?. Los vértices se han contado en sentido contrario a las agujas del reloj, por lo que los trapecios pintados de rojo tienen área negativa y los pintados de azul área positiva. La suma total da un valor de -310.5 por lo que el área del polígono será de 310.5 m².

- A partir de área, perímetro y longitud máxima se han desarrollado diferentes índices de forma

$$I_{compacidad} = \frac{P}{A} \quad (8.14)$$

$$I_{circularidad} = \frac{4A}{\pi L^2} \quad (8.15)$$

- Si se traza un segmento entre un punto y el origen de coordenadas y este segmento cruza un número impar de veces el límite de un polígono entonces está **dentro** del polígono si lo cruza un número par de veces está **fuera** del polígono (figura ??)
- Una línea intersecta a un polígono si alguno de sus segmentos tiene un punto de cruce con alguno de los segmentos del polígono.
- Dos polígonos se intersectan si sus perímetros se intersectan.

A continuación se van a presentar algunos casos de análisis de mapas de puntos, análisis de redes y geoestadística.

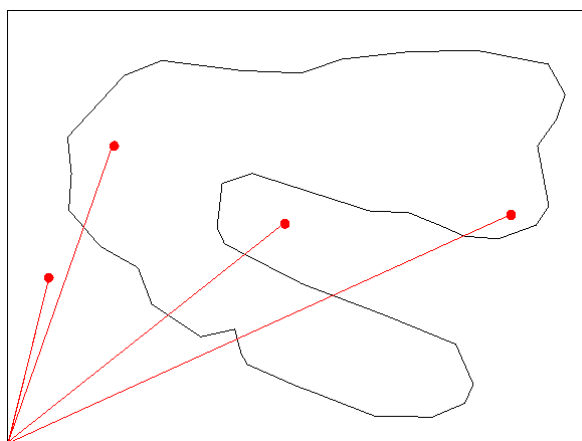


Figura 8.3: Determinación de si un punto está dentro de un polígono

i	Área	A. acumulada
1	337.5	337.5
2	216	553.5
3	291.5	845
4	167.5	1012.5
5	-648	364.5
6	-390	-25.5
7	-155	-180.5
8	-130	-310.5

Cuadro 8.1: Resultados del cálculo del área del polígono (figura ??)

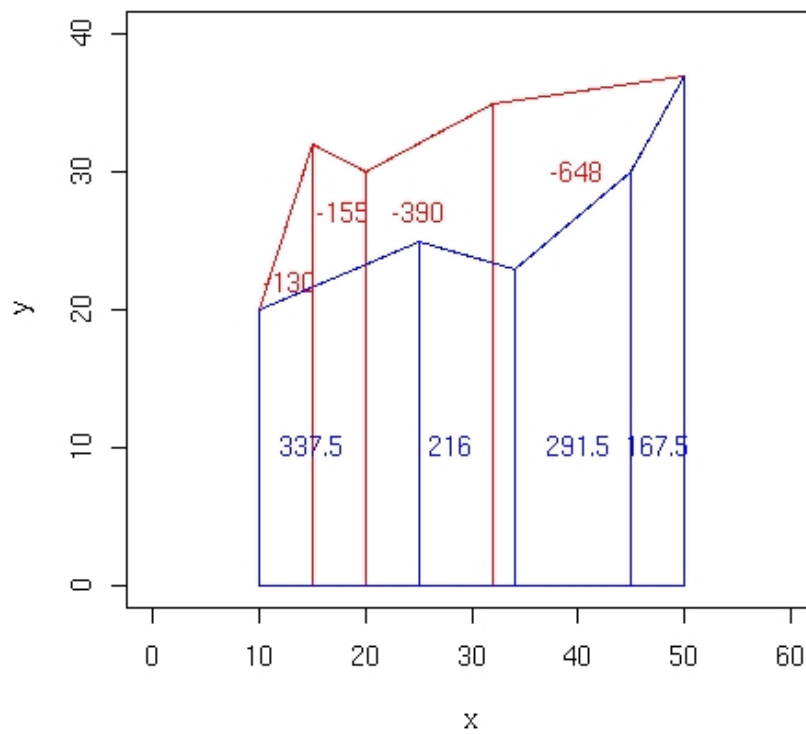


Figura 8.4: Cálculo del área de un polígono

8.3.3. Análisis de capas de puntos

Se trata de capas de información en las que se registra la presencia de un conjunto de objetos puntuales (dolinas, individuos de una determinada especie, pozos, supermercados, etc.) en el espacio.

La primera cuestión que se plantea es analizar su distribución en el espacio. Para ello existen tres tipos de medidas:

- Las que, de forma similar a la estadística descriptiva clásica, calculan un conjunto de estadísticos de la distribución en el espacio (centro medio, desviación típica de distancias, etc.)
- Las que permiten calcular la densidad de puntos
- Las que buscan determinar el carácter agregado, distribuido o aleatorio de los objetos

Generalmente se asume como hipótesis nula que la distribución de puntos es aleatoria y como hipótesis alternativa que existe alguno de los siguientes efectos:

- Efecto de primer orden, la intensidad del proceso (frecuencia de aparición de puntos) es mayor en unas partes del área de estudio que en otras.
- Efecto de segundo orden, la aparición de un punto incrementa la probabilidad de que aparezcan otros en las cercanías.

Si una distribución de puntos no experimenta efecto de primer orden se dice que es estacionaria de primer orden y si no experimenta el efecto de segundo orden se dice que es estacionaria de segundo orden. No siempre es fácil distinguir entre los efectos de primer y segundo orden.

Para que un conjunto de puntos sea considerada una distribución de puntos y se le pueda aplicar el conjunto de técnicas que van a explorarse a continuación, se requiere que cumpla una serie de condiciones:

- El área de estudio debe determinarse de forma objetiva
- El conjunto de puntos debe corresponder a la población completa y no a una muestra
- Las coordenadas de cada punto deben corresponder exactamente a la ubicación del punto (no pueden ser centroides o coordenadas medias)

Medidas de centralidad y dispersión

Las medidas de centralidad son los centro medio, mediano y modal, que se calculan como el punto definido por los valores medio, mediano y moda de las coordenadas X e Y de la muestra.

$$X_m = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (8.16)$$

$$Y_m = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N} \quad (8.17)$$

Dependiendo del tipo de distribución que tengan los valores de X e Y, será más correcta la utilización del centro medio o mediano como estadístico de centralidad.

En el caso de que los puntos tengan asociada una variable (por ejemplo altura de los árboles). Puede calcularse un centro ponderado utilizando esta variable como factor de ponderación:

$$X_{wm} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i X_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (8.18)$$

$$Y_{wm} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i Y_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (8.19)$$

donde w representa una variable, normalmente no espacial, medida en cada punto. Por ejemplo, los puntos pueden ser núcleos urbanos y w su población.

Respecto a la dispersión, puede utilizarse el equivalente a la desviación típica igual que antes se han utilizado los equivalentes a la media:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_m)^2}{N}} \quad (8.20)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_m)^2}{N}} \quad (8.21)$$

Puede obtenerse también la desviación típica de las distancias como la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las distancias al punto medio:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_{i,c}^2}{N}} \quad (8.22)$$

En la figura ?? aparece el punto medio y el círculo de una desviación típica de distancias del mapa de observatorios meteorológicos de la cuenca del Segura. De un modo similar pueden derivarse ecuaciones para calcular la desviación típica ponderada.

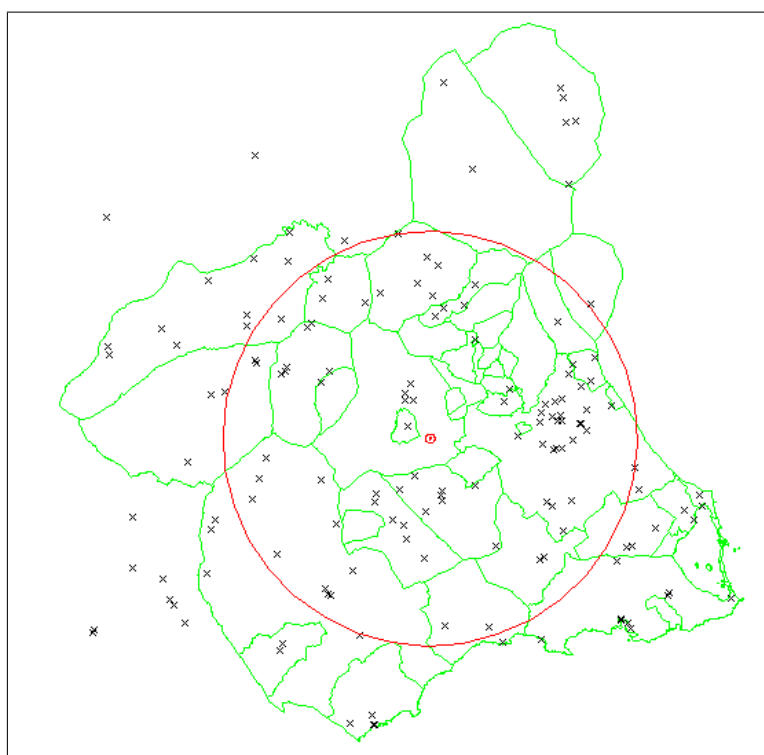


Figura 8.5: Punto central y circunferencia de desviación típica

Todos los métodos vistos hasta el momento, asumen que la distribución es isótropa, es decir que las desviaciones son iguales en cualquier dirección y que la desviación típica puede asimilarse de este modo al radio de una circunferencia.

En realidad esto no suele ocurrir así sino que hay una dirección a lo largo de la cual la variabilidad es menor y otra, generalmente perpendicular, con mayor variabilidad. Piensa por ejemplo en la distribución de humedad del suelo en un valle alargado, la dirección del valle establece el eje de menor variabilidad. En estos casos se dice que la variable es anisotrópica.

El eje de mayor variabilidad pueden obtenerse mediante la ecuación:

$$\tan\theta = \frac{(\sum x'^2 - \sum y'^2) + \sqrt{(\sum x'^2 - \sum y'^2)^2 + 4(\sum x'y')^2}}{2(\sum x'y')} \quad (8.23)$$

donde $x' = x - X_m$, $y' = y - Y_m$ y ζ es el ángulo formado por el eje de máxima variabilidad y'' respecto al eje y' . El eje de mínima variabilidad x'' será por tanto perpendicular a y'' .

Las desviaciones de las distancias respecto a x'' e y'' vienen dadas por:

$$\sigma_{x''} = \sqrt{\frac{\sum x'^2 \cos^2\theta - 2(\sum x'y') \sin\theta \cos\theta + \sum y'^2 \sin^2\theta}{n}} \quad (8.24)$$

$$\sigma_{y''} = \sqrt{\frac{\sum x'^2 \sin^2\theta - 2(\sum x'y') \sin\theta \cos\theta + \sum y'^2 \cos^2\theta}{n}} \quad (8.25)$$

Medidas de agrupamiento

En ocasiones interesa obtener una medida de la disposición de los puntos unos respecto a otros, tratando de identificar estructuras concentradas o dispersas. Muchos fenómenos que tienen una manifestación espacial tienden a aproximarse a algunos de estos extremos.

Varias son las técnicas que nos proporcionan una medida del grado de dispersión o concentración de las observaciones puntuales en un área. A continuación se expone una técnica de uso frecuente en la investigación de fenómenos espaciales: el análisis del vecino más próximo. Otras técnicas como el test de χ^2 o el test de Kolmogorov-Smirnov pueden consultarse en la bibliografía.

Este tipo de análisis de vecindad se fundamenta en el reconocimientos de tres tipos de estructuras puntuales:

- concentrada, con una elevada densidad de puntos en zonas concretas del área de estudio (figura ?? A)
- dispersa, los puntos tienden a ocupar la mayor parte del área de estudio maximizando la distancia entre los puntos (figura ?? B)
- aleatoria, establecida al azar (figura ?? C)

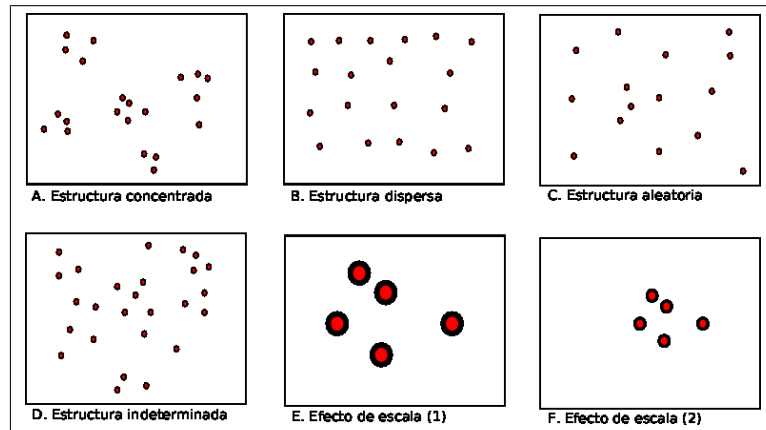


Figura 8.6: Estructuras de agrupamiento de fenómenos puntuales

En muchos casos el tipo de estructura no será tan evidente como en los tres primeros esquemas de la figura ?? sino que aparecerán casos del tipo de la figura ??, en estos casos es necesario llevar a cabo un test estadístico para verificar cual es el tipo de distribución.

Pero también hay que tener en cuenta la existencia de problemas de escala. La figura ??E presenta un zoom realizado sobre la ??A, la aplicación del test del vecino más próximo a este caso daría como resultado una estructura aleatoria ya que el muestreo no se ha hecho a la escala adecuada. El tamaño del área de estudio también afecta a los resultados, la figura ??F representa el caso anterior pero ahora ampliando el rectángulo que contiene los puntos, en este caso el test del vecino más próximo daría como resultado una estructura concentrada.

Se parte del cálculo para cada punto de su distancia al vecino más próximo d_1 , posteriormente se calcula la media de estas distancias d_{1m} y se compara con la media que se obtendría de una distribución al azar d_{1a} .

$$d_{1a} = \frac{1}{2\sqrt{N/A}} \quad (8.26)$$

$$R_1 = \frac{d_{1m}}{d_{1a}} \quad (8.27)$$

donde N es el número de puntos y A el tamaño del área de trabajo. No debe olvidarse que estamos calculando la distribución de puntos dentro de un área de estudio cuya extensión no siempre está claramente establecida a priori y va a tener una influencia decisiva en el resultado final. Si se tienen unos límites definidos (un municipio, una cuenca hidrográfica) no hay problemas, pero los límites irregulares y posiblemente arbitrarios que impone una pantalla de ordenador pueden afectar al resultado del índice.

Si $R_1 = 1$, ambas distribuciones son idénticas y nos encontraríamos ante una estructura puramente aleatoria. Si R_1 se aproxima a 0 significa que las distancias observadas son pequeñas y por tanto la estructura es concentrada. El valor máximo de R_1 es 2.149, e indicaría una estructura netamente dispersa.

Nivel de significación	Valor z
0.05	1.645
0.01	2.326
0.005	2.576
0.001	3.090

Cuadro 8.2: Valores de z para diferentes niveles de significación

Rara vez van a aparecer estos valores extremos sino que obtendremos valores intermedios. En realidad la aleatoriedad no vendría dada exclusivamente por $R_1 = 1$ sino por una banda de valores alrededor de 1. Los límites de esta banda vienen dados por los valores críticos de R_1 :

$$R_{1c} = 1 \pm z \frac{0,5228}{\sqrt{N}} \quad (8.28)$$

donde z depende del nivel de significación escogido (tabla ??), el nivel de significación indica las probabilidades que asumimos de equivocarnos si aceptamos que la distribución no es aleatoria. Un valor de 0.05 implica, por ejemplo, que existe un 95 % de probabilidades de que no nos equivoquemos en el diagnóstico.

Si $1 - z * 0,5228 * N^{-0,5} < R_1 < 1 + z * 0,5228 * N^{-0,5}$ se asume por tanto que la distribución es al azar, sin concentración ni dispersión. Si $R_1 < 1 - z * 0,5228 * N^{-0,5}$ la distribución es concentrada y si $R_1 > 1 + z * 0,5228 * N^{-0,5}$ se considera que es dispersa.

8.4. Algebra de mapas en formato vectorial

En el tema 4 se vieron diversas técnicas de álgebra de mapas en formato raster. En el formato vectorial hay que distinguir dos casos:

- Se trabaja con el mismo conjunto de objetos, es decir con la misma capa y diferentes variables asociadas a las diferentes entidades de la capa. Por ejemplo una capa de municipios y una base de datos con valores de diversas variables para cada municipio. En este caso las variables pueden combinarse con operaciones similares a los operadores locales en raster para obtener nuevas variables. En realidad apenas hay diferencias ya que los polígonos pueden considerarse celdillas grandes y deformadas. En el próximo tema se verá como trabajar con una base de datos asociada a un SIG para llevar a cabo operaciones de este tipo.
- Se trabaja con distintas capas que quieren cruzarse. Requiere la intersección de ambas capas para obtener un nuevo conjunto de entidades y una nueva tabla en la base de datos que relacione los identificadores de los polígonos resultantes de la intersección con los identificadores de los polígonos originales. En la figura ?? aparece un ejemplo en el que se cruza el mapa de municipios con el de acuíferos.

El álgebra de mapas para datos vectoriales utiliza diversos operadores y funciones que derivan de las operaciones métricas y topológicas vistas con anterioridad. Aunque los programas de SIG tradicionales solían incluir herramientas para hacer operaciones de álgebra de mapas en formato vectorial, en los últimos años se ha impuesto un nuevo modelo de trabajo basado en el almacenamiento de la información geométrica y topológica de los SIG en bases de datos objeto-relacionales. Por ello, se deja su exposición para el siguiente tema, dedicado a la integración de SIG y bases de datos.

8.5. Bibliografía

- Fotheringham,A.S; Brunston,C. & Charlton,M. (2000) *Quantitative Geography. Perspectives on Spatial Data Analysis* SAGE Publications, 270 pp.
- Gámir Ortueta,A.; Ruiz Pérez,M. y Seguí Pons, J.M. (1994) *Prácticas de Análisis Espacial Oikos-Tau*, 384 pp.
- Pelegrín,B.; Cánovas,L. & Fernández,P. (1992) *Algoritmos en grafos y redes PPU*, 50 pp.
- Verbyla,D.L. (2002) *Practical GIS Analysis* Taylor & Francis, 294 pp.

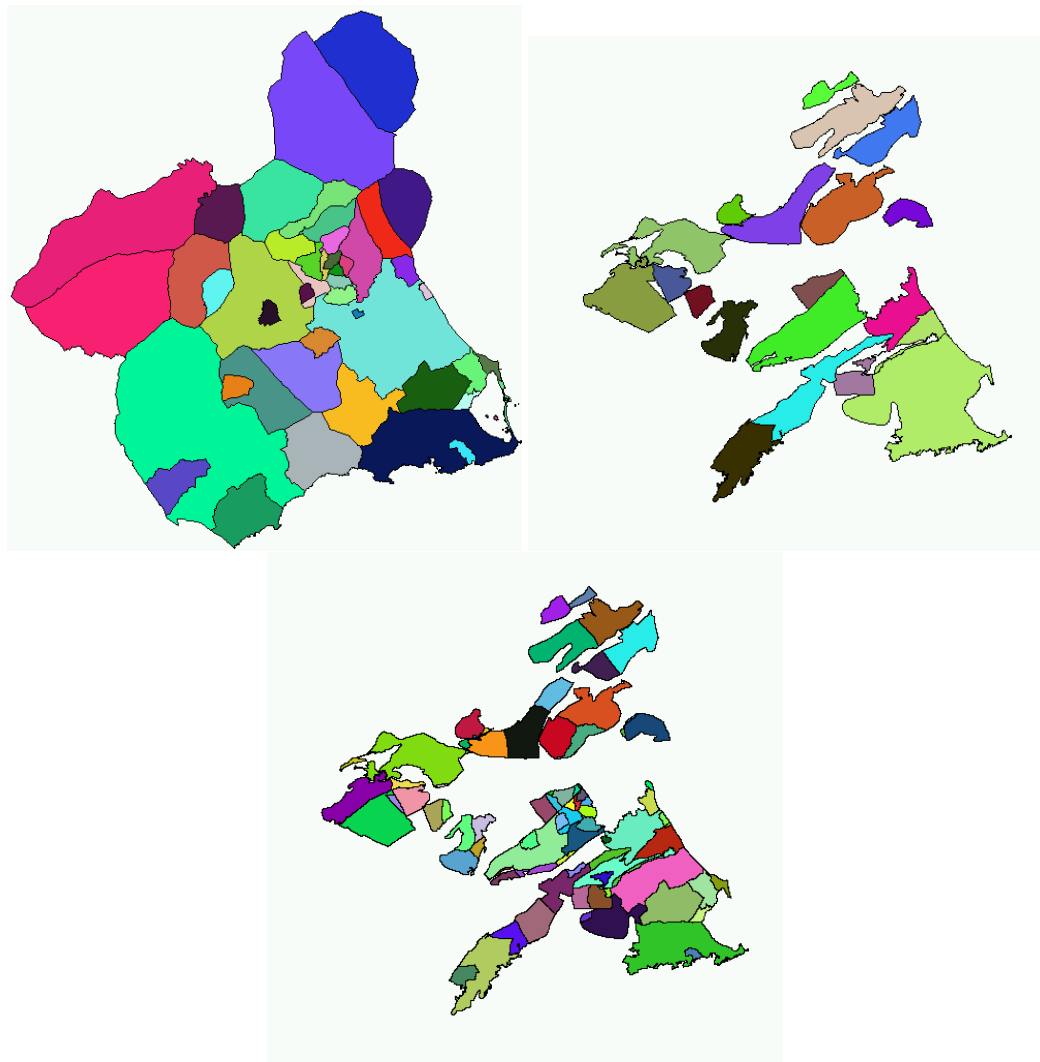


Figura 8.7: Mapa de términos municipales, mapa de acuíferos y corte de ambos

