



# ciencias de la vida

## Impactos humanos sobre la dinámica de población de la avutarda

### Objetivo del proyecto

En este proyecto, se pretende evaluar el impacto sobre las avutardas de los cambios en el uso del suelo, así como de otras causas de mortalidad inducidas por el hombre, proponiendo vías que hagan compatible el desarrollo rural y la conservación de dicha especie.

Para ello se integran en modelos de simulación espacialmente explícitos los datos obtenidos mediante radioseguimiento de una amplia muestra de individuos marcados por el equipo investigador sobre comportamiento (capacidad dispersiva, migración, sistema reproductivo), dinámica de población (natalidad, mortalidad, longevidad), disponibilidad de hábitat (capacidad de carga, información vía satélite), y estructura genética de la población (análisis de ADN mitocondrial y nuclear). Los modelos servirán para:

- Verificar diversas hipótesis de teoría de metapoblaciones.
- Proporcionar un marco teórico para evaluar los efectos de cambios humanos del medio agrícola sobre la supervivencia de las avutardas.
- Sugerir medidas que minimicen el impacto humano sobre la especie y su hábitat.

Este proyecto ha dado lugar al desarrollo del trabajo *Leks in ground-displaying birds: hotspots or safe places?*, recientemente publicado por J.C. Alonso *et al* en la revista *Behavioral Ecology*, en el que se aborda la cuestión de qué factores influyen en la selección de los lugares de exhibición nupcial en la avutarda común *Otis tarda*, un ave globalmente amenazada y que aún conserva en España más del 60% de su población mundial.



Macho adulto en exhibición nupcial. © C. Palacín.

Utilizando esta especie como modelo de estudio, se aborda un tema aún no resuelto en ecología del comportamiento, como es la importancia relativa de diferentes presiones selectivas a la hora de que los individuos de un grupo reproductor decidan dónde emplazar el lugar de exhibición nupcial. Los machos de especies que se reproducen en las llamadas arenas de exhibición comunal o *leks* se reúnen cada primavera tradicionalmente en los mismos lugares concretos, a los que más tarde acuden las hembras para el apareamiento. Dichos lugares deben, por tanto, poseer unas características que los hacen especialmente favorables para tal fin.

Según las hipótesis que más apoyo han recibido en estudios recientes, deben situarse donde la probabilidad de encuentro con hembras es máxima, los llamados puntos calientes o *hotspots*. Sin embargo, otra de las condiciones que deben cumplir las mencionadas arenas de exhibición, y que ha sido mucho menos estudiada, es la de que debe tratarse de lugares seguros frente a posibles depredadores, es decir, que ofrezcan a los individuos que allí se concentran un campo visual lo más extenso posible, para permitirles una detección rápida de cualquier peligro que se avecine, así como una mayor distancia a zonas de sombra o zonas no visibles, donde pudieran ocultarse posibles depredadores. En efecto, estos lugares de agregación primaverales podrían ser zonas favoritas de caza de muchos depredadores, por la elevada densidad de potenciales presas que allí se congregan. En este estudio se verifican distintas predicciones de las dos hipótesis, concluyendo que la elección de los lugares de exhibición ha resultado de la interacción de las dos presiones evolutivas, por una parte maximizar la atracción de hembras de los alrededores, y por otra, minimizar los riesgos de depredación.

Con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica o SIG (ArcGIS 10), extensos muestreos o censos de la especie durante los últimos 25 años distribuidos por toda la superficie peninsular y cartografía digital georreferenciada suministrada por el Instituto Nacional de Información Geográfica (IGN), se cartografiaron los 350 leks conocidos de avutardas en España, comparándose con lugares elegidos de forma aleatoria en las mismas zonas ocupadas por la especie. Utilizando un modelo de elevaciones del terreno de muy alta resolución espacial (5 metros), se observó que, de

acuerdo a la hipótesis del *hotspot*, los lugares elegidos por los machos para exhibirse se hallaban centrados en las áreas de distribución de las hembras, presentaban mayor visibilidad horizontal que los puntos aleatorios y se alejaban lo más posible de lugares habitados por el hombre, uno de sus principales depredadores potenciales. Precisamente la maximización de la visibilidad horizontal debe ser la principal causa de la extremada fidelidad, que ésta y otras especies que se agregan en *leks* para reproducirse, mantienen al lugar de exhibición año tras año.

Como la topografía no cambia con el tiempo, la visibilidad horizontal es una condición que no varía de un año a otro, y, por ello, el punto elegido es el mejor siempre en todos los años. Este estudio concluye que tanto la más popular hipótesis de reunión en el punto caliente, como la menos investigada de evitación del riesgo de depredación, han debido moldear a lo largo de la evolución los parámetros que rigen la selección por estas especies de sus arenas de exhibición.

## Sistemas de Información Geográfica (SIG)

El uso de información digital espacialmente referenciada para el desarrollo de estudios ecológicos relacionados con la distribución u otros parámetros funcionales de las especies se ha vuelto habitual durante las últimas décadas, gracias a los avances informáticos y al desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los SIG constituyen una herramienta imprescindible que posibilita la manipulación e integración de ingentes cantidades de datos espacialmente explícitos, así como su representación en forma de mapas, configurando una potente herramienta para la detección de procesos ambientales o distribución de especies y su seguimiento espacio-temporal.

Bajo este tipo de aplicaciones, la información alfanumérica tradicional, disponible para los procesos o especies objeto de estudio (por ejemplo, número de individuos o abundancia, descendencia, mortalidad, etc.) lleva asignada una posición geográfica concreta, permitiendo abordar análisis impensables hace solo algunos años.

Las bases para la futura aparición de los SIG las encontramos algunos años antes de la década de los sesenta, debido a una necesidad creciente de información geográfica y al uso óptimo de la misma, con la aparición de los primeros ordenadores. Con el tiempo, tanto las capacidades de procesamiento y almacenamiento de la información, como las características técnicas de los SIG y las bases de datos geográficas almacenadas bajo estándares de calidad y organización, como las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), se han ido incrementando en cantidad y calidad, existiendo en la actualidad una amplísima oferta que permite a usuarios avanzados realizar cualquier tipo de análisis. En nuestros días los SIG son aplicaciones genéricas formadas por diversos elementos, cuya tendencia actual

es la convergencia en productos versátiles y amplios.

Los estudios ecológicos han venido aplicando un paralelismo entre resolución espacial de los datos y escala geográfica del área de estudio. De este modo, estudios en el marco de la macroecología, donde el rango geográfico es muy amplio (por ejemplo, nivel país, continente o escala planetaria), suelen utilizar

### Participación de la FCSCCL

Se hace imprescindible crear una potente máquina virtual en Caléndula (16 cores, 32Gb de RAM, posteriormente 8 cores, 16 Gb de RAM, y más de 1Tbyte de memoria) en base Windows donde se instaló ArcGIS10 Desktop con una licencia del CSIC. El motivo de selección de esta aplicación SIG estuvo fundamentada en su previa, y futura, utilización por parte del equipo de investigación del proyecto para el desarrollo de otros estudios. El cambio de algoritmo supondría la introducción de más incertidumbre al proceso de análisis, adicional a la ya introducida por la toma de datos en campo, su posterior digitalización y la inherente a los modelos de datos geográficos. Con ArcGIS instalado en la máquina virtual de Caléndula se han desarrollado todos los trabajos relacionados con análisis SIG y modelización espacial del trabajo mencionado

Por tanto, Caléndula se utilizó para hacer la parte de los análisis relativos a topografía. Se creó un mosaico inédito del MDT o MDE (Modelo Digital de Elevaciones) de 5 metros de resolución espacial del CNIG y se corrieron modelos de selección geográfica para variables derivadas de este MDT (altitud, pendiente, rugosidad del terreno, visibilidad y ocultación ante depredadores) para todos los grupos reproductores de avutarda de España (350).

resoluciones espaciales groseras en los datos incluidos en los SIG (imágenes de satélite de 1,5 o 10 km; información especializada en mallas o grids de 10, 20 o incluso 100 km). Esta relación viene motivada no sólo por una mayor versatilidad a la hora de realizar cálculos matemáticos, dadas las capacidades de procesamiento de los ordenadores, sino también por la -todavía- limitada disponibilidad de capas de datos de alta resolución espacial con cobertura global. Por su parte, estudios ligados a escalas locales, donde las áreas de estudio no superan los cientos o miles de hectáreas (por ejemplo, un bosque, una cuenca hidrográfica de cabecera, o un municipio determinado), suelen utilizar fuentes de información geográfica de alto detalle con el fin de contrastar adecuadamente los objetivos del estudio, que serían imposibles de detectar a resoluciones menores. Este dualismo está estrechamente relacionado con la escala y la Teoría de la Jerarquía en Ecología. Dado que los paisajes y las relaciones funcionales que en ellos se desarrollan, bióticas y abióticas, son sistemas complejos y jerárquicos, esta teoría establece que en los niveles superiores de la jerarquía los fenómenos se desarrollan



Zona de exhibición en el norte de Córdoba. © C. Palacín.

durante periodos de tiempo largos, en grandes espacios y a velocidad más lenta, mientras que a niveles inferiores son más rápidos y locales, por lo que se requerirán datos con más detalle para detectarlos.

En el trabajo *Leks in ground-displaying birds: hotspots or safe places?*, el planteamiento realizado por J.C. Alonso *et al* ha sido complementario entre los dos enfoques anteriores. Aunque se ha desarrollado a escala peninsular, cubriendo una superficie superior a los 500.000 km<sup>2</sup>, la intención ha sido abordar los análisis como si se tratase de escalas locales para cada uno de los 350 *leks* conocidos de avutardas en España y los lugares elegidos de forma aleatoria en las zonas ocupadas por la especie, necesarios para el desarrollo de los modelos y el análisis comparativo. Para ello, se ha utilizado un modelo de elevaciones del terreno de muy alta resolución espacial (5 metros), proporcionado por el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), del que se ha derivado un mosaico peninsular completo y continuo inédito en formato compatible con ArcGIS (ESRI), así como capas de pendiente, orientación, insolación y curvatura, con un peso final que supera el Terabyte de información. Tanto el mosaicado del MDT como la creación de las capas derivadas han requerido el uso de supercomputación, dada la imposibilidad de cualquier ordenador de sobremesa de mover semejante base de datos geográfica.

El MDT utilizado se distribuye por hojas 1:50000 (MTN50) en formato .agr por el CNIG. Este formato se convirtió a *IMAGINE image*, compatible con ArcGIS, con el que se creó, trabajando con Geodatabases, el mosaico continuo para España peninsular. A continuación se derivaron las capas de pendiente, orientación (norte-sur y este-oeste), insolación y curvatura. Seguidamente, utilizando la información de la especie (350 *leks* y 350 puntos aleatorios dentro del home range, o área de campeo, de cada grupo), la enorme capacidad de procesamiento del SIG una vez instalado en Caléndula y el desarrollo de scripts en lenguaje Python, se abordó el análisis individual para cada *lek* y punto aleatorio, evitando problemas de solapes y otros, y se analizaron para toda España las características topográficas y de intervisibilidad de los lugares elegidos de forma aleatoria y los ocupados por la especie. Estos análisis se repitieron decenas de veces, produciendo réplicas que se incluirían como análisis de sensibilidad en el trabajo, reforzando las conclusiones obtenidas. Todo el proceso exigió más de tres meses de procesamiento, entre pruebas de puesta a punto y análisis finales en Caléndula. El resultado ha sido cientos de miles de archivos relacionados con la topografía e intervisibilidad, cuya obtención sería imposible en entornos de computación estándar, que unidos a otros similares, relativos a molestias humanas y presencia de conspécificos, han permitido desarrollar modelos estadísticos con los que argumentar y consolidar las conclusiones del estudio de gran trascendencia en el campo de la ecología del comportamiento.

## Financiación

Proyecto financiado por el Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental no orientada del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011 del Ministerio de Economía y Competitividad.



Código CGL2008-02567

## Curriculum Vitae de los investigadores

Juan Carlos Alonso López, Director del Proyecto, es Profesor de Investigación del CSIC, donde investiga en ecología del comportamiento y biología de la conservación de aves. Ha participado en más de 45 proyectos, en 40 de ellos como investigador principal. Tras obtener el grado de Doctor en la Universidad Complutense de Madrid en marzo de 1982, se incorporó como becario postdoctoral al Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN), pasando a la plantilla de investigadores de dicho centro en 1986. Es autor o coautor de más de 120 artículos en revistas científicas, más de una decena de libros o monografías, una veintena de capítulos y más de 60 comunicaciones a congresos. Ha dirigido 10 tesis doctorales y 3 proyectos de becarios postdoctorales. Como reconocido experto en grullas y avutardas a nivel internacional, ha sido asesor de distintos organismos oficiales y entidades privadas de ámbito nacional e internacional con responsabilidad en la conservación. Entre sus actividades actuales destaca la dirección de un grupo de investigadores en el departamento de Ecología Evolutiva del MNCN, dedicados al estudio de la avutarda. Utilizando esta especie como modelo, investigan las adaptaciones ecológicas, demográficas y de comportamiento relacionadas con la evolución de una marcada selección sexual, así como los problemas de conservación de aves esteparias en medios agrícolas.

Jose Manuel Álvarez Martínez es Doctor en Ciencias Ambientales por la Universidad de León, con mención "*Doctor Europeus*" *Cum Laude*. Su investigación se ha centrado en los cambios de uso y ocupación del suelo de la Cordillera Cantábrica, y su relación con la calidad del agua en arroyos de montaña. Desde comienzos de 2010 se incorporó como Post-doc en el Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN) de Madrid como especialista en técnicas de teledetección, SIG, bases de datos y modelización ecológica espacial aplicada al análisis de la dinámica del territorio y biogeografía. Dominio de aplicaciones libres y comerciales. Estancias de Investigación en centros de reconocido prestigio nacional e internacional (Universidad de Wageningen, Holanda, CREAM de la Universidad Autónoma de Barcelona, España). Experiencia docente universitaria y profesor de numerosos cursos, másteres, conferencias y jornadas técnicas relacionadas con nuevas tecnologías aplicadas al estudio del medio ambiente. Participación en proyectos de investigación oficiales de la Universidad de León, CSIC y otras Administraciones Públicas. Autor de varios capítulos de libros, documentos técnicos y artículos científicos publicados e indexados en el SCI.

Carlos Palacín Moya, biólogo vinculado al Departamento de Ecología Evolutiva del MNCN desde 1998, donde realizó su tesis doctoral "*Comportamiento Migratorio de la Avutarda Común en la Península Ibérica*". Su trabajo se enmarca en la ecología del comportamiento y la biología de la conservación. En particular, su actividad investigadora trata la ecología migratoria y espacial (mediante el estudio de la historia vital de individuos radio-marcados), la ecología de poblaciones (mediante el seguimiento a largo plazo) y el efecto de la actividad humana en especies sensibles. Una aplicación directa de este trabajo ha sido su participación en la evaluación del estado de conservación y en el diseño de planes de acción de aves amenazadas ligadas a sistemas agrarios. El objetivo último de su actividad es generar conocimientos que contribuyan a la conservación de las especies estudiadas.