

EL RADIOSEGUIMIENTO EN ESPECIES AMENAZADAS: EL CASO DE LA AVUTARDA

Juan C. Alonso¹, Javier A. Alonso², Carlos A. Martín, Carlos Palacín y Marina Magaña

Desde hace más de diez años nuestro equipo viene desarrollando un amplio proyecto de investigación sobre la biología de la avutarda en España, en el que el marcaje individual con placas alares y emisores de radio ha sido el método de estudio fundamental. Hasta la fecha se han marcado en diferentes poblaciones españolas más de 500 avutardas, unas 400 de ellas con emisores. El seguimiento de dichos individuos a lo largo de varios años está permitiendo investigar aspectos hasta ahora desconocidos, como dispersión juvenil y movimientos estacionales de adultos, comportamiento y éxito reproductivo, inversión maternal, mortalidad y longevidad. Entre los resultados más interesantes destacan la elevada filopatria de las hembras, frente a una mayor tendencia dispersiva de los machos. Éstos suelen realizar recorridos muy amplios, en un radio de hasta 200 km, tanto durante su dispersión juvenil desde los lugares natales, como durante la edad adulta entre sus zonas de reproducción y áreas estivales o invernales. En cuanto a la mortalidad, hemos podido cuantificar la elevada incidencia de causas de origen humano, tales como colisiones contra tendidos eléctricos, furtivismo y muerte por perros. Por último, el seguimiento por radio de los individuos marcados ha servido para detectar nuevas zonas de avutardas, antes desconocidas, contribuyendo a actualizar las estimaciones de tamaños de población obtenidas mediante censos. Como conclusión, podemos decir que sin métodos adecuados de estudio científico, tales como el marcaje individual y un programa de seguimiento a largo plazo, difícilmente se puede llegar a un conocimiento adecuado de una especie, que permita establecer con criterios objetivos su estrategia de conservación.

LA NECESIDAD DE ESTUDIO CIENTÍFICO DE LA BIOLOGÍA DE LA AVUTARDA

La avutarda ha sufrido durante las últimas décadas una notable regresión (Glutz *et al.* 1973, Cramp & Simmons 1980, Collar 1985, Hidalgo 1990, del Hoyo *et al.* 1996), destacando los casos de Hungría y Alemania, con descensos poblacionales respectivos del 99% y del 87% durante los últimos 50 años (Dornbusch 1983, Fatér & Nagy 1993, Farago com. pers., Litzbarski, 1993, com. pers.; Nicolai, 1993), y sin que en la mayor

parte de los casos se hayan podido identificar claramente las causas de tales disminuciones. La población mundial de la especie, estimada en principio en unos 23.000 individuos (Collar 1985, Hidalgo 1990), y posteriormente revisada a 30.000-40.000 (Alonso J.A. *et al.* 1995), cuenta con la mayor parte de sus efectivos en España (alrededor de 20.000 individuos; Alonso & Alonso 1996, datos inéditos), por lo que la mayor responsabilidad de investigación sobre la especie recae en nuestro país. La población ibérica de avutardas se compone de una serie de

¹ Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC.

C/ José Gutiérrez Abascal 2. 28006 Madrid. E-mail: jcalonso@mncn.csic.es

² Facultad de Biología, Universidad Complutense, 28040 Madrid

subpoblaciones, varias de las cuales están sufriendo en la actualidad un proceso de fragmentación no natural, debido a cambios en el uso agrícola del suelo o al desarrollo urbano y de grandes infraestructuras. Dicho proceso podría ser muy similar a los que han hecho desaparecer la especie en la mayor parte de las zonas de Europa occidental en las que hace un siglo estaba aún presente. Es necesario y urgente, por tanto, investigar a fondo la estructura y dinámica de las poblaciones actuales, para evitar la regresión de la población ibérica de avutardas, única del mundo con garantías realistas de supervivencia.

La avutarda es una especie protegida (Convenio de Berna de 1979, Directiva Europea de Aves 79/409, Ley 4/1989 sobre Conservación de Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres), clasificada en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas como "de interés especial" (Real Decreto 439/1990). Las Administraciones nacional y autonómicas están obligadas a adoptar las medidas necesarias para la conservación de la avutarda, medidas que ha sido definidas en el recientemente elaborado "Plan de Acción sobre la Avutarda" (Heredia *et al.* 1996), y entre las que se establece la necesidad de investigar aquellos aspectos de su biología que tienen especial relevancia para su conservación, como son, por ejemplo, sus requerimientos de espacio y hábitat y su estructura demográfica (productividad, mortalidad).

EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN SOBRE LA AVUTARDA

Desde 1987, año en que iniciamos el marcaje de jóvenes de avutarda en la Reserva de Villafáfila (Alonso J.C. *et al.* 1992, Alonso J.A. *et al.* 1994), hasta la fecha actual, venimos desarrollando un proyecto de investigación sobre la biología de la avutarda. Aunque existen trabajos anteriores sobre esta espe-

cie, se trata, salvo excepciones (p. ej., Hidalgo & Carranza 1990), de censos o estudios sobre aspectos parciales, muchas veces con enfoque poco riguroso. El objetivo de nuestro proyecto es, no sólo el estudio científico del comportamiento y la ecología de la especie, sino la obtención de la información necesaria para abordar con garantías un plan de conservación de la misma y una mejor gestión de su hábitat.

La investigación se inició en Villafáfila, quizá la zona de mayor densidad de avutardas del mundo, con objeto de obtener una información en condiciones que podríamos calificar de óptimas para la especie, de manera que luego fuesen comparables con las de otras poblaciones más amenazadas, para así poder extraer conclusiones sobre las posibles causas del deterioro de las mismas. Tras varios años de estudio intensivo de la población de Villafáfila (1987-94), extendimos la investigación a otras áreas de la geografía peninsular (Madrid -Alonso J.A. *et al.* 1996, 1997, Alonso J.C. *et al.* 1998a - y zonas limítrofes de Castilla y León y Castilla-La Mancha, Navarra, Andalucía), y recientemente hemos iniciado un estudio en la población de Marruecos, la más meridional y una de las más amenazadas del área de distribución de la especie (Alonso *et al.* 2000b).

EL MARCAJE COMO MÉTODO DE ESTUDIO

El estudio se basó, desde un principio, en el marcaje individual y seguimiento por radio, único método que permite la obtención de datos fidedignos sobre distintos aspectos biológicos con un enfoque individual y con el detalle y rigor necesarios (Tabla 1). Los comportamientos e historias de vida de la serie de individuos marcados pueden luego integrarse en un estudio de estructura y dinámica de la población, y permiten la obtención de parámetros fundamentales

Aves cruzando	Utilidad de la radiotelemetría	Ventajas de la radiotelemetría frente a otros métodos de marcaje
dispersión juvenil, natal y reproductiva	Imprescindible	Único método que permite seguir la ruta de dispersión juvenil, y conocer, tanto las diferentes zonas utilizadas durante dicho proceso, como la distribución real de frecuencias de distancias de dispersión natal y reproductiva.
mortalidad	Imprescindible	Único método que permite establecer tasas reales de mortalidad (localización del 100% de individuos marcados).
movimientos estacionales y rutas migratorias	Necesario	Permite el seguimiento de movimientos y facilita la identificación de zonas utilizadas por la población, de las que no se tenía información; telemetría vía satélite recomendable en especies migratorias de larga distancia; localización aérea necesaria en especies que realizan desplazamientos de más de unas pocas decenas de km.
áreas de campeo y patrones de uso del espacio individuales	Necesario	Permite la localización de prácticamente el 100% de los individuos marcados, y su seguimiento continuo o en fechas concretas de especial interés.
longevidad	Necesario	Facilita estimas de longevidad, al permitir establecer las áreas utilizadas por el individuo marcado durante varios meses-años, pero son necesarios otros métodos de marcaje (anillamiento, etc.), para su seguimiento una vez agotada la batería del emisor.
modelos de viabilidad poblacional	Necesario	Permite la cuantificación de determinados parámetros imprescindibles para la elaboración de los modelos.
censos	Útil	Facilita la evaluación de tamaños de población y censos en determinadas especies de difícil detección, mediante estimas de probabilidad de contacto con marcados.

Tabla 1. Utilidad de la radiotelemetría radiotelemetría frente a otros métodos de marcaje en relación con distintos objetivos de investigación.

para la elaboración de modelos de viabilidad de poblaciones (p.ej., tasas de dispersión natal y mortalidad) (Amlaner & McDonald 1980, Sutherland 1996, Hanski 1999). Independientemente de tratarse de un método científicamente reconocido como necesario para realizar investigaciones rigurosas en ecología del comportamiento, el marcaje individual y seguimiento por radio es especialmente necesario en una investi-

gación orientada a la conservación, en la que resulta prioritario el estudio de los movimientos, tanto diarios, como estacionales y de dispersión juvenil y adulta, ya que ellos son los que definen los requerimientos espaciales de la especie estudiada (Amlaner & McDonald 1980, White & Garrot 1990). Por ello, gran parte del esfuerzo de estudio de la avutarda lo hemos dedicado a la captura y al seguimiento de individuos marcados.

Hasta la fecha hemos capturado más de 500 avutardas jóvenes y adultas, y desde 1991 hemos realizado seguimiento por radio de más de 400 de ellas en diversas poblaciones españolas (Castilla y León, Madrid, Castilla-La Mancha, Navarra, Andalucía). A pesar de lo impresionante de estas cifras, hay que tener en cuenta que la muestra efectiva se ve finalmente muy reducida por la elevada mortalidad juvenil de la especie, además de por pequeñas tasas de mortalidad adulta y fallo de emisores, por lo que son necesarios muchos años de investigación para llegar a conclusiones científicamente válidas.

El marcaje individual con procedimientos que permiten la identificación rápida de los ejemplares marcados se ha ido imponiendo en los últimos años, frente al anillamiento convencional con anillas metálicas numeradas, como metodología en el estudio de los movimientos dispersivos, pero también en estudios generales de la migración y en los de sociabilidad y otros aspectos diversos del comportamiento animal (Bub 1991, Bub & Oelke 1985). Uno de los métodos de marcaje que permiten diferenciar a los individuos en el campo es el de las placas alares (Anderson 1963, Mathisen 1966, Parry 1967, Southern 1971, Blackman 1973, Morgenweck & Marshall 1977), particularmente útil en el caso de la avutarda, de gran tamaño, habitante de zonas abiertas y, por tanto, fácilmente visible a distancia con la óptica adecuada. Más recientemente, la radiotelemetría se ha mostrado como el método idóneo para el estudio de la biología y el comportamiento de animales en libertad, ya que permite un seguimiento continuo de los individuos marcados (Amlaner & McDonald 1980, Bub & Oelke 1985, White & Garrot 1990).

Algunos autores han planteado diversas objeciones al marcaje con radioemisores, argumentando, por ejemplo, que los individuos marcados pueden sufrir mayor mortalidad, modificación de su comportamiento o

movilidad, o alteración de sus condiciones físicas (Hessler *et al.* 1970, Greenwood & Sargeant 1973, Craighead & Dunstan 1976, Lance & Watson 1977, Snyder 1985, Small & Rusch 1985, Perkins 1988). Otros autores recomiendan aumentar la muestra de marcados, precisamente con el fin de que la actividad de los individuos marcados sea representativa de la población estudiada (Cochram & Ior 1963). La mayoría de los autores admiten que la captura de individuos para su marcaje, incluso con los métodos aparentemente más inocuos, como las redes japonesas, puede conllevar un cierto porcentaje de mortalidad, que se justificaría en la mayor parte de los casos por el valor, o incluso, en algunos casos, la necesidad de la información que proporciona la muestra de individuos marcados, siempre que la mortalidad provocada se mantenga en valores razonablemente mínimos. Por lo que respecta a la avutarda, uno de nuestros principales objetivos a lo largo de los primeros años del proyecto ha sido precisamente el perfeccionamiento de las técnicas de captura y marcaje, para minimizar los riesgos para las aves. Así, por ejemplo, en un estudio sobre mortalidad juvenil en Villafáfila no encontramos diferencias entre la mortalidad de la población no marcada y la de la muestra de marcados (Martín 1997).

CAPTURA Y MARCAJE DE POLLOS

Los pollos se capturaron en julio y agosto, cuando aún no son capaces de volar largas distancias. Una vez marcados, fueron puestos en libertad, comprobándose en todos los casos que se reunían de nuevo con sus madres. Sólo se marcaron los pollos que superaron el kilo de peso. La fecha de eclosión de estos individuos se estimó usando las tablas de crecimiento basadas en peso publicadas por Heinroth & Heinroth (1928) y Radu (1969), obteniéndose una edad en el momento de la captura de entre 20 y 70

días. El sexo de cada individuo fue determinado durante el marcaje mediante el uso de fórmulas discriminantes basadas en varias medidas biométricas o más tarde en el laboratorio mediante análisis moleculares (Martín *et al.* 2000). El peso medio de los individuos marcados fue de 2 kg para los machos y de 1.4 kg para las hembras.

Para hacer posible la identificación visual se les marcó con placas alares de plástico rígido (Gravoply), consistentes en dos láminas unidas de diferente color, lo que permitió, grabando una de ellas, obtener una gran cantidad de diseños distintos para permitir la identificación individual (Alonso J.A. *et al.* 1996a). El tamaño de la marca fue de 90x65 mm, con los ángulos superiores cortados, de forma que quedara una solapa central en la parte superior de la marca, en la cual se perforó un orificio para pasar a su través un remache de ganadería (Allflex), que sujetara la placa al patagio del ala del ave. La solapa se dobló ligeramente para permitir una mejor adaptación a la curvatura del ala plegada. El espesor de la marca fue de 1.5 mm y su peso, incluyendo el remache, de 12g. Las marcas se sujetaron al patagio mediante tenazas especiales, evitando vasos sanguíneos, tendones y músculos, y desinfectando la zona de perforación antes y después con alcohol y cloramfenicol. A cada individuo se le colocaron dos marcas con idéntico diseño, una en cada ala, permitiendo la posterior identificación visual utilizando la óptica adecuada (telescopio de 20-60x). No se observó que causara molestias a las aves, a las que nunca se vio picotearse las marcas. Para minimizar la visibilidad de las marcas se eligió, en la mayoría de los casos, el color verde, grabándose los símbolos en blanco. Además, las marcas se taparon con una fina capa de papel con un diseño marrón claro y negro imitando el del plumaje, que permaneció adherido a las marcas durante unos días, desprendiéndose después.

Además de placas alares, a la mayor parte de los pollos se les colocó un emisor de radio, cuyo peso supuso entre el 1.5 y el 4% del peso total del ave en el momento de su captura. Debido al gran dimorfismo sexual en tamaño de la especie, se utilizaron diferentes métodos de sujeción de dichos emisores en machos y hembras, con el fin de minimizar las posibles consecuencias negativas sobre el crecimiento de los pollos. En todos los machos y, en aquellas hembras que en el momento de la captura estaban muy desarrolladas, el emisor se fijó al dorso del animal mediante arneses de cinta elástica cruzados bajo el pecho para impedir desplazamientos laterales del emisor. La antena queda en una disposición óptima para la emisión (Kenward 1980). En hembras de menor peso se utilizó el sistema conocido como “poncho” o “collar”, mediante el cual el emisor queda suspendido del cuello del ave, y la antena dirigida hacia arriba y hacia atrás, de forma que también se optimiza la emisión de la señal. La aplicación de este sistema en el campo presenta la ventaja de su simplicidad, siendo el procedimiento que menos tiempo de manejo requiere (Fisher *et al.* 1993, Small *et al.* 1993, Wilson *et al.* 1992, Perkins 1988, Amstrup 1980). En la Tabla 2 se detallan los distintos tipos de emisores utilizados a lo largo del proyecto (más información en Alonso J.A. *et al.* 1996a).

CAPTURA Y MARCAJE DE ADULTOS

La captura de adultos se realizó con redes de cohetes, procedimiento seleccionado como el más adecuado tras ensayar diversos métodos en la Reserva de Villafáfila. Todos los adultos fueron provistos de emisores de radio sujetos mediante arneses de teflón, así como de placas de Gravoply para su identificación visual. En las hembras y algunos machos dichas placas se colocaron en ambos patagios alares, mien-

tras que en la mayor parte de los machos se optó por pegarlos en posición vertical en la parte superior del emisor de radio, que se sujetó al cuerpo del ave mediante arnés. La ventaja de este sistema, que no puede ser aplicado a los pollos, es el menor tiempo necesario para el marcaje. Los emisores utilizados fueron todos de Biotrack Ltd., con un peso que no superó el 1% del peso total del ave (Tabla 2).

LOCALIZACIÓN DE LOS INDIVIDUOS MARCADOS

Equipo de recepción. Los equipos de recepción utilizados fueron de las marcas AVM (modelo LA 12-DS) y Telonics (TR 2, con escáner TS-1), ambos alimentados mediante baterías recargables de NiCd o alcalinas, conectados mediante cables coaxiales a antenas direccionales, de tipo yagi, de tres (Wildlife Materials Inc) o de dos elementos (Telonics).

Localización por tierra. Después del marcaje se realizaron controles con una periodicidad variable entre semanal y mensual. La búsqueda se realizó recorriendo las zonas frecuentadas por avutardas incluidas en el área de estudio con vehículos todo terreno, de forma que se podía asegurar la localización de cualquier individuo radiomarcado dentro del área prospectada. Las señales emitidas por los radioemisores se localizaron desde puntos prominentes del terreno, que permiten una mayor distancia de recepción. Después de la localización por radio siempre se efectuó un control visual de cada individuo marcado.

Localización mediante avionetas. En muchas ocasiones, debido a la amplitud de los movimientos dispersivos realizados, o simplemente por desaparición de la zona habitual, no fue posible localizar a algunos individuos mediante controles por tierra. En tales casos se realizaron vuelos con avionetas Bonanza E-24 Beechcraft del Ejército del

Aire, que permitió aumentar de 10 a 20 veces el rango de recepción de las señales de radio, además de permitir la prospección de áreas geográficas mucho mayores. Las localizaciones aéreas tuvieron un éxito cercano al 100%, y el error medio de localización desde el aire no superó los 500 m. Durante el presente proyecto se han realizado hasta la fecha vuelos que suman un total de más de 400 horas de vuelo, habiéndose cubierto prácticamente la totalidad del hábitat potencial de Madrid, Castilla-La Mancha, Castilla y León, Aragón, Navarra y Extremadura. (más detalles en Alonso J.A. *et al.* 1996b).

Localización vía satélite. El elevado coste del seguimiento vía satélite, empleado por primera vez en esta especie entre 1997 y 1999 en un número limitado de individuos, hace desaconsejable su uso en una especie de movimientos migratorios no demasiado largos, como la avutarda, siempre que exista la posibilidad de seguimiento con avionetas.

PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE SEGUIMIENTO POR RADIO

Los resultados de la investigación llevada a cabo hasta la fecha están detallados en 30 trabajos publicados en revistas científicas o monografías, así como en diversos informes técnicos elaborados para la Administración. Además, han dado lugar a la realización de 5 tesis doctorales (Martín 1997, Morales 2000, Martín 2001, otras dos en fase avanzada de realización). Destacan los siguientes:

Dispersión juvenil y natal

Los pollos marcados con emisores de radio han proporcionado información inédita sobre movimientos de dispersión juvenil y filopatria en todas las poblaciones estudiadas. Se confirma el sesgo sexual en la dispersión descrito originalmente para la población de Villafáfila (Alonso & Alonso

Método de sujeción	Edad/Sexo	Fabricante y modelo	Pulso por minuto	Longitud antena (cm)	Peso (g)	Duración estimada meses	Tamaño (mm)	Distancia receptiva terrestre (km) ¹
Adosado a placa alar ²	jóvenes de ambos sexos	Telonics CHP-4P	55	25	18	19	48x15x15	1-2
	jóvenes de ambos sexos	Biotrack (TW2) 1xAAx 1/3	30-35	25	24	8-12	45x15x15	2-3
Banda alar ²	jóvenes de ambos sexos	Biotrack (TW2) 2xAAx 2/3	30-35	30	40	30-42	44x29x16	2-3
Poncho y collar	sólo hembras jóvenes y adultas	Biotrack (TW3) 2 x AA x 2/3	35-40	25-30	30	30-42	38x29x16	2
	sólo hembras jóvenes y adultas	Telonics 225	50	30	50	16-20	41x24x20	2-2.5
Arnés ³	jóvenes y adultos de ambos sexos	Biotrack (TW3) 2 x AA	30-35	30	60	36-48 (>27)	70x30x18	2 - 3
	machos jóvenes	Biotrack (TW3) 1 x C	30-35	30	80	36-48	70x35x30	2 - 3
	jóvenes y adultos de ambos sexos	Biotrack (TW5) 2 x AA	30-35	30	60	48-60	70x30x18	2 - 3
	machos adultos	Biotrack (TW5) 3 x AA	30-35	30	100	72-96	70x45x18	2 - 3
	jóvenes de ambos sexos	Biotrack (TW5) 1xAAx 1/3 ⁴	30-35	30	10	7-9	25x15x15	1.5-2
	jóvenes de ambos sexos	Satélite ⁵	1	30	50	48-60 (?)	100x30x20	vía satélite

Tabla 2. Características principales de los emisores utilizados en el proyecto avutarda. En negrita, los modelos seleccionados como más adecuados para esta especie.

¹ Desde el aire, hasta 30-40 km.

² Métodos descartados en fases iniciales del proyecto

³ de cinta de teflón en adultos, y de cinta elástica en jóvenes (y adultos)

⁴ Emisores VHF incorporados a los emisores vía satélite

⁵ Los emisores vía satélite incorporaron, a su vez, un pequeño emisor VHF para facilitar su eventual seguimiento desde tierra.

1992, Alonso J.C. *et al.* 1995, 1998c), con filopatria marcada en los pollos hembra y mayor dispersión natal en los machos, que realizan dispersiones juveniles de mayor envergadura. Por ejemplo, la dispersión de los machos jóvenes de Madrid abarca varios cientos de km por las provincias vecinas, principalmente Guadalajara, Soria, Zaragoza, Cuenca y Toledo (Figura 1). Sin embargo, a diferencia de Villafáfila, se observa en la población madrileña un elevado porcentaje de retorno de machos a sus zonas natales, debido probablemente a la mayor fragmentación del hábitat en esta zona, con el consiguiente riesgo derivado de una excesiva endogamia, aún pendiente de evaluar (Martín 1997, Martín 2001). Actualmente estamos estudiando la capacidad dispersiva de poblaciones aisladas, como la navarra o diversos núcleos andaluces.

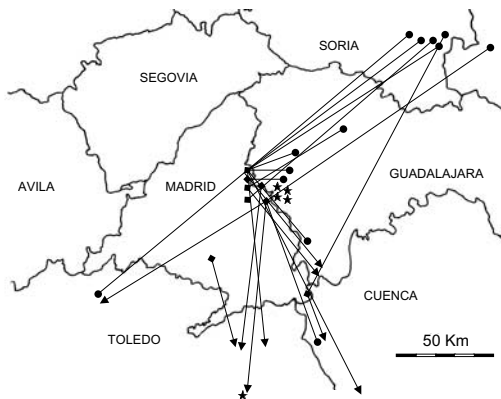


Fig. 1. Como ejemplo de la utilidad del marcaje con emisores de radio, mostramos en este mapa los principales desplazamientos fuera de Madrid durante la dispersión juvenil de los machos de avutarda marcados entre 1995 y 1998. Para mayor claridad de la figura, no se han representado los itinerarios completos, sino sólo las zonas más alejadas que cada individuo visitó en invierno (flechas) y en verano (círculos). Los cuadrados indican la zona natal y las estrellas las zonas de establecimiento como adultos reproductores fuera de la provincia.

Dispersión reproductiva

La tasa de dispersión reproductiva es cercana al 30% en machos de 3-5 años, y menor del 10% a mayor edad. En hembras adultas, de más de 2-3 años, no hemos encontrado por el momento casos de dispersión reproductiva, ni respecto al lugar de apareamiento (lek), ni al de nidificación.

Mortalidad

La mortalidad juvenil medida desde el marcaje (julio) es del 70%, por lo que la mortalidad total del primer año debe ser superior, quizá cercana al 80-90%. Luego desciende bruscamente a valores similares a los de la población adulta, en torno al 10%. La mortalidad de los machos es mayor que la de las hembras, siendo la diferencia más marcada a edades muy tempranas. Las causas de este sesgo sexual son, seguramente, las mayores tasas de crecimiento y requerimientos energéticos de los machos jóvenes, y la mayor vulnerabilidad de los machos durante su dispersión juvenil y estacional a edad adulta, en especial ante colisiones contra tendidos y depredadores, aunque también frente a riesgos naturales. La tasa y la edad a la que se produce la muerte de los jóvenes depende de la fecha de eclosión, la condición corporal, y la calidad del año, afectando estas variables más a los machos. Las causas de muerte naturales (depredación, desnutrición, enfermedad) son mayoritarias durante el primer año de vida, mientras que las muertes por causas no naturales, sobre todo por colisión contra tendidos, alcanzan valores de hasta el 70% a mayor edad (Martín 2001, Alonso J.C. *et al.* 1994 y datos propios).

Movimientos estacionales de adultos

Machos: Una proporción mayoritaria de los machos llevan a cabo anualmente movimientos estacionales regulares de alejamien-

to y retorno a los *leks*. Los machos que realizan estos movimientos muestran en general fidelidad interanual a sus áreas de reproducción, así como a las de dispersión postreproductiva e invernada. Algunas de estas zonas se encuentran a cerca de 200 km del *lek*. Este patrón de movimientos, descubrieron gracias al seguimiento por radio en una especie que se creía sedentaria, correspondiente a una migración parcial. Queda por determinar en qué medida dicho comportamiento es aprendido o viene determinado genéticamente, aunque parece que gran parte de los machos utilizan zonas postreproductivas que visitaron ya de jóvenes (Morales *et al.* 2000, Alonso J.A. *et al.* en prensa, datos propios).

Hembras: Un porcentaje significativo de la población de hembras realiza también movimientos estacionales regulares, siendo la diversidad de patrones mayor que en los machos: algunas se mueven entre zonas de nidificación e invernada (hasta 80-90 km), otras abandonan su área de campeo sólo para visitar un *lek* y aparearse, las hay que pasan el invierno en el *lek* donde se aparean, para luego desplazarse a un lugar de cría en el que pasan el verano, y, por último, algunas son completamente sedentarias y fieles todo el año a una pequeña zona. La mayoría de las hembras muestran fidelidad interanual a sus zonas de apareamiento (*lek*), nidificación e invernada. No sabemos aún si el comportamiento migrador-sedentario es aprendido de la madre, y variable dependiendo de factores como edad, experiencia, dominancia o éxito reproductivo, o está determinado genéticamente (Alonso *et al.* 2000a, datos propios).

COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO

Modelo reproductivo de la especie y éxito reproductivo de los machos: Según datos aún preliminares, el modelo sería similar al descrito como *lek disperso* (Gilliard 1969,

Höglund & Alatalo 1995), sin comportamiento claramente territorial en la mayor parte de los machos. Los machos permanecen agrupados en bando hasta la dispersión o *explosión del lek* a comienzos de abril, cuando los mayores de 4 años comienzan su exhibición en solitario. Estimamos que sólo en torno a un 30% de los machos copulan, estando la distribución del éxito de cópula muy sesgada entre éstos. La edad de primer intento de cópula de los machos es de 4 años, aunque la de primera reproducción con éxito es posterior (datos propios inéditos).

Éxito reproductivo de hembras: la edad media de primera reproducción con éxito de las hembras es de más de 4 años, aunque son fértiles a los dos años; las hembras más viejas (más de ocho años) tienden a tener mayor éxito reproductivo; sólo en torno a un 5 % de las hembras crían con éxito en dos o más años consecutivos, y una hembra sólo logra criar un pollo con éxito por término medio cada 8 años (Alonso *et al.* en prensa)

RESULTADOS CON INTERES ESPECIAL EN CONSERVACIÓN:

Paralelamente a los resultados sobre la biología de la avutarda descritos, destacan los siguientes resultados, por su interés aplicado a la conservación de la especie:

Incidencia de causas de mortalidad de origen humano: Estamos constatando una importante tasa de mortalidad juvenil y adulta por disparo, así como por perros (de pastores, de cazadores, asilvestrados, etc.). Dicha mortalidad hubiese pasado desapercibida, de no haber estado los individuos marcados con emisores de radio, lo que permite su detección relativamente rápida, facilitando en muchos casos la determinación de la causa de muerte.

Descubrimiento de zonas nuevas: el seguimiento por radio ha permitido la identificación de zonas utilizadas por las avutar-

das de las que antes no se tenía constancia, o bien se carecía de información sobre su importancia relativa como áreas estivales o invernales, así como de la procedencia de los individuos que las utilizan (por ejemplo, las áreas de Soria y Guadalajara, utilizadas por los machos de Madrid en verano, o la Mesa de Ocaña en Toledo, utilizada por muchos machos y hembras de Madrid en otoño-invierno).

Aislamiento de subpoblaciones: el seguimiento por radio nos permite determinar la capacidad dispersiva de los jóvenes en poblaciones aisladas geográficamente por fragmentación del hábitat, y evaluar los riesgos derivados del mencionado aislamiento en dichas poblaciones (p. ej., casos de Navarra y Andalucía).

Determinación de parámetros demográficos vitales para modelos de viabilidad de poblaciones: determinados parámetros necesarios para la elaboración de modelos de viabilidad sólo se pueden obtener de forma fidedigna mediante seguimiento de individuos marcados con radioemisores (p. ej., mortalidad, tasas de emigración/inmigración).

AGRADECIMIENTOS

A Cosme Morillo y Juan Manuel de Benito, por animarnos a iniciar el proyecto. A la larga lista de colaboradores en el trabajo de campo y de análisis, en especial a E. Martín y M. Morales, que realizaron su tesis doctoral en el marco del proyecto. A las autoridades de conservación que nos facilitaron autorizaciones de marcaje de avutardas en Navarra, Castilla y León, Madrid, Castilla-La Mancha y Andalucía. La colaboración del Ejército del Aire ha sido imprescindible para el desarrollo del proyecto, al posibilitar la localización de los individuos en dispersión. Nuestro especial agradecimiento al Jefe del Estado Mayor del Aire, a los Jefes de la Primera Región Aérea y de la División de Operaciones, y a los mandos y pilotos de la

base aérea de Getafe, 42 Grupo. La investigación ha sido realizada hasta la fecha en el marco de numerosos proyectos financiados por: Dirección General de Investigación Científica (6 proyectos: PB910081, PB940068, PB971252, HB960082, HB970069, HA970046,), ICONA (4 proyectos), Dirección General de Conservación de la Naturaleza (1), Junta de Castilla y León (3), Comunidad de Madrid (2), Gobierno de Navarra (1), Junta de Andalucía (1), Sociedad Española de Ornitología (2), British Ecological Society (1), Agencia Española de Cooperación Internacional (1) y Unión Europea (1).

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, J.A., ALONSO J.C., MARTÍN E., MORALES M.B. 1994. *Seguimiento telemétrico de avutardas (Otis tarda) en Villafáfila*. Informe inédito. Junta de Castilla y León.
- ALONSO, J.A., ALONSO J.C., MARTÍN E., MORALES M.B. 1995. *La avutarda en la Reserva de Las Lagunas de Villafáfila*. Inst. Estudios Zamoranos, CSIC - FEPMA.
- ALONSO, J.A., ALONSO J.C., MARTÍN E., MORALES, M. & MARTÍN, C. A. 1996. Seguimiento y control de las poblaciones de Halcón peregrino y avutarda en la Comunidad de Madrid. Año 1996. Volumen II: avutarda. S.E.O. – C.A.M.
- ALONSO, J.A., ALONSO, J.C., MARTÍN, E., MORALES, M. & MARTÍN, C. A. 1997. Marcaje y seguimiento de individuos de avutarda en la ZEPA 'Estepas Cerealistas de los ríos Jarama y Henares'. SEO-C.A.M.
- ALONSO, J.A., MARTÍN, E., ALONSO, J.C., MORALES, M.B. 1996a. Vergleichende Analyse der Markierungsmethoden für juvenile Grosstrappen (*Otis t. tarda* L., 1758) im Feld. *Naturschutz u. Landschaftspflege in Brandenburg* 1/2: 80-83.
- ALONSO, J.A., MARTÍN, E., MORALES, M.B. & ALONSO, J.C. 1996b. Aerial tracking of Great bustard (*Otis tarda*) in Northern

- Spain. Int. Symposium for the Conservation of Steppe Birds and their Habitat. Valladolid 1995.
- ALONSO, J.A., MARTÍN, C.A., ALONSO, J.C., MORALES, M.B. and LANE, S.J. (en prensa) Long distance seasonal movements of male great bustards (*Otis tarda*) in central Spain. *Journal of Field Ornithology*.
- ALONSO, J.C. & ALONSO, J.A. 1992. Male-biased dispersal in the Great Bustard *Otis tarda*. *Ornis Scand.* 23 81-88
- ALONSO, J.C. & ALONSO, J.A. 1996. The Great Bustard *Otis tarda* in Spain: Present status, recent trends and an evaluation of earlier censuses. *Biol. Conserv.* 77: 79-86
- ALONSO, J.C., ALONSO, J.A. & MUÑOZ-PULIDO, R. 1994. Mitigation of bird collisions with transmission lines through groundwire marking. *Biological Conservation* 67: 129-134
- ALONSO, J.C., ALONSO, J.A., MARTÍN, E., MORALES, M.B. 1995. Range and patterns of great bustard movements at Villafáfila, NW Spain. *Ardeola* 42: 69-76
- ALONSO, J.C., ALONSO, J.A., MARTÍN, E., MORALES, M.B. 1992. *Movimientos y uso del espacio en la avutarda (Otis tarda) en los periodos juvenil e inmaduro*. Informe inédito, ICONA, Madrid
- ALONSO, J.C., ALONSO, J.A., MARTÍN, E. & MORALES, M.B. 1995. Range and patterns of Great Bustard movements at Villafáfila, NW Spain. *Ardeola* 42: 69-76
- ALONSO, J.C., ALONSO, J.A. & MARTÍN, C. A. 1998a. Campaña de marcaje de avutardas con radioemisores y placas alares en la Comunidad de Madrid en 1998. C.A.M.
- ALONSO, J.C., ALONSO, J.A., MARTÍN, E., MARTÍN, C.A. & MORALES, M.B. 1998b. Las avutardas de Madrid: seguimiento de individuos marcados con radioemisores. *La Garcilla* 100: 40-42
- ALONSO, J.C., MARTÍN, E., ALONSO, J.A. & MORALES, M.B. 1998c. Proximate and ultimate causes of natal dispersal in the great bustard, *Otis tarda*. *Behavioral Ecology* 9:243-252
- ALONSO, J.C., MORALES, M.B. & ALONSO, J.A. 2000a. Partial migration, lek fidelity and nesting area fidelity in female great bustards *Otis tarda*. *The Condor* 102: 127-136
- ALONSO, J.C., LANE, S.J., DAWSON, R. & IDAGHDOUR, Y. 2000b. Great bustards *Otis tarda* in Morocco: status in spring 1999 and evidence of a decline in recent decades. *Oryx* 34 (2): 141-146
- ALONSO, J.C., MORALES, M.B. & ALONSO, J.A. (en prensa) Annual productivity and individual female reproductive success in a Great Bustard *Otis tarda* population. *Ibis*.
- AMSTRUP, S.C. 1980. A radio-collar for game birds. *J. Wildl. Management* 44: 214-217
- ANDERSON, A. 1963. Patagial tags for waterfowl. *J. Wildl. Management* 27: 284-288.
- AMLANER, C.J. & Mc DONALD, D.W. 1980. *A Handbook on Biotelemetry and Radiotracking*. Pergamon Press.-Oxford.
- BLACKMAN, J.G. 1973. Marking methods for studying Australian Crane. *Australian Bird Bander*, 11 (3): 56-57
- BUB, H. 1991. *Bird Trapping and Bird Banding*. Cornell Univ. Press.
- BUB, H. & OELKE 1985. *Markierungs-methoden für Vögel*. Brehm Bücherei.-Wittenberg-Lutherstadt.
- COLLAR, N.J. 1985. The world status of the Great Bustard. *Bustard Studies* 2: 1-20
- COCHRAN, W.W. & IOR, R.D. 1963. A Radio-tracking system for wild animals. *J. Wildl. Management* 27 (1): 9-24
- CRAIGHEAD, F.C. & DUNSTAN, T.C. 1976. Progress towards tracking migrating raptors by satellite. *Raptor Res.*, 10: 112-120
- CRAMP, S. & SIMMONS, K.E.L. (eds.). 1980. *The birds of the western Palearctic*. Vol.2. Oxford Univ. Press, London
- DEL HOYO, J, ELLIOT, A. & SAGATAL, J. (Eds.) 1996. *Handbook of the Birds of the World*. Vol. 3. Lynx Ed. Barcelona.
- DORNBUSCH, M. 1983. Status, ecology and conservation of the Great Bustard *Otis*

- tarda in the German Democratic Republic. In *Bustards in Decline*, ed. P.D. Goriup & H. Vardhan. Jaipur 89-90
- FATER, I. & NAGY, S.Z. 1993. *Javaslattú-zokkíméleti területek kialakítására a környezeti érzékeny területek rendszerében*. Magyar Madártany és Természetvédelmi Egyesület, Budapest.
- FISCHER R.A., APA A.D., WAKKINEN W.L., REESE K.P. 1993. Nesting-area fidelity of sage grouse in southeastern Idaho. *Condor* 95: 1038-1041
- GILLIARD, E.T. 1969a. *Birds of Paradise*. Natural History Press. New York.
- GLUTZ, U.N., BAUER, K.M. & BEZZEL, E. 1973. *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*. Bd. 5. - Frankfurt a.M.
- GREENWOOD, R.J. & SARGEANT, A.B. 1973. Influence of radio packs on captive mallards and blue-winged teal. *J. Wild. Manag.*, 37: 267-274
- HANSKI, I. 1999. *Metapopulation Ecology*. Oxford Univ. press, Oxford.
- HEINROTH, O. & HEINROTH, M. 1928. *Die Vögel Mitteleuropas, III*. Bermühler, Berlin-Lichterfelde.
- HEREDIA, B., ROSE, L. & PAINTER, M. 1996. *Globally threatened birds in Europe. Action Plans*. Council of Europe Publishing, Strasbourg.
- HESSLER, E., TESTER, J.R., SNIFF, D.B. & NELSON, M.M. 1970. A biotelemetry study of survival of pen-reared pheasant released in selected habitats. *J. Wild. Manag.*, 34: 267-274
- HIDALGO, S.J. 1990. World status of the Great Bustard (*Otis tarda*) with special attention to the Iberian Peninsula population. *Miscellanea Zoologica* 14: 167-180
- HIDALGO, S.J. & CARRANZA, J. 1990. *Ecología y comportamiento de la avutarda* (*Otis tarda*). Univ. de Extremadura, Cáceres.
- HÖGLUND, J. & ALATALO, R.V. 1995. *Leks*. Princeton University Press, Princeton.
- KENWARD, R.E. 1980. Radiomonitoring Birds of prey. In Amlaner, C.J. & Mc Donald D.W. (Eds): *A Handbook on Biotelemetry and Radiotracking*. Pergamon Press. Oxford.
- LANCE, A.N. & WATSON, A. 1977. Further test of radio-marking on red grouse. *J. Wild. Manag.*, 41: 579-582.
- LITZBARSKI, H. (1993). *Das Schutzprojekt "Grosstrappe" in Brandenburg. Berichte zum Vogelschutz*, 31, 61-66.
- MARTÍN, E. 1997. *Dispersión juvenil y cuidado maternal en la avutarda Otis tarda*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- MARTÍN, C. 2001. *Dispersión y estructura genética de la población de avutardas de la Comunidad de Madrid*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- MARTÍN, C.A., ALONSO, J.C., ALONSO, J.A., MORALES, M.B. & PITRA, C. 2000. An approach to sexing young Great Bustards *Otis tarda* using discriminant analysis and molecular techniques. *Bird Study*, 47: 147-153
- MATHISEN, J. 1966. Patagial tags on Evening Grosbeaks. *IBBA News*, 38: 129
- MORALES, M.B. 2000. *Ecología reproductiva y movimientos estacionales en la avutarda Otis tarda*. Tesis doctoral. UCM, Madrid.
- MORALES, M.B., ALONSO, J.C., ALONSO, J.A. & MARTÍN, E. 2000. Migration patterns in male great bustards. *The Auk* 117: 493-498
- MORGENWECK, R.O. & MARSHALL, W.H. 1977. Wing marker for American Woodcock. *Bird Banding* 48 (3): 224-227.
- NICOLAI, B. 1993. *Atlas der Brutvögel Ostdeutschlands*. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart
- PARRY, U.A. 1967. The patagial methods for tagging birds. *Austral. Bird Band.* 48 (3): 224-227
- PERKINS, J.P. 1988 Effects of Poncho-mounted radios on Blue Grouse. *J. Field Ornithol.*, 59 (1): 46-59
- RADU, D. 1969. Die Aufzucht von Grosstrappen *Otis tarda L.* im Zoologischen

- Garten Budapest. *Freunde Kölner Zoo*, 12: 59-64
- SMALL, R.J. & RUSCH, P.H. 1985. Backpacks vs. Ponchos: Survival and movements of radio-marked Ruffed Grouse. *Wild. Soc. Bull.*, 13: 163-165
- SMALL, R.J., HOLZWART, J.C. & RUSCH, P.H. 1993. Are Ruffed Grouse vulnerable to mortality during dispersal? *Ecology* 74 (7): 2020-2026
- SNYDER, W.D. 1985. Survival of radio-marked hen ring-necked pheasants in Colorado. *J. Wild. Manag.*, 49: 1045-1046
- SOUTHERN, W.E. 1971. Evaluation of a plastic wingmarker for full studies. *Bird Banding*, 42: 88-91
- SUTHERLAND, W. 1996. *From Individual Behaviour to Population Ecology*. Oxford Univ. Press, Oxford
- WILSON, R.J., DROBNEY, R.D. & HALLET, D.L. 1992. Survival, dispersal, and site fidelity of wild female ring-necked pheasants following translocation. *J. Wildl. Manage.* 56 (1): 79-85
- WHITE, G.C. & GARROT, R.A. 1990. *Analysis of Wildlife Radio-Tracking Data*. Academic Press, New York.