

# EL ÁGUILA PERDICERA EN CATALUÑA: DE LA AMENAZA A LA CONSERVACIÓN

## APLICACIONES A LA MITIGACIÓN DE LA ELECTROCUCIÓN



**Medio Ambiente y Cambio Climático de España y Portugal  
Biodiversidad, I+D+I ambiental y Recursos Hídricos**



# **EL ÁGUILA PERDICERA EN CATALUÑA: DE LA AMENAZA A LA CONSERVACIÓN**

## **APLICACIONES A LA MITIGACIÓN DE LA ELECTROCUCIÓN**

**Enero 2015**

### **Autores:**

Joan Real<sup>1</sup>, Antonio Hernández-Matías<sup>1</sup>, Àlex Rollan<sup>1</sup> y Albert Tintó<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Equip de Biologia de la Conservació. Departament de Biologia Animal & Institut de Recerca de Biodiversitat. Universitat de Barcelona.

### **Coordinación:**

Antoni Palau<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Dirección de Medio Ambiente y Cambio Climático de España y Portugal.  
Endesa, S.A.

Esta monografía ha sido elaborada a partir del encargo de ENDESA titulado *Análisis de la población de águila perdicera en Cataluña. Evolución demográfica e interacción con tendidos eléctricos de distribución*, así como la información obtenida desde 1980 hasta 2014 gracias a proyectos y convenios específicos de la Universitat de Barcelona con la Fundació Miquel Torres de Vilafranca del Penedès, Diputació de Barcelona, ENDESA y proyectos financiados por los Ministerios de Educación y de Ciencia e Innovación.



# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
1.1. ANTECEDENTES	7
<b>2. EL ÁGUILA PERDICERA: DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE, DISTRIBUCIÓN, ESTADO DE CONSERVACIÓN Y BIOLOGÍA</b>	<b>9</b>
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE	11
2.2. DISTRIBUCIÓN Y ESTADO DE CONSERVACIÓN	11
2.3. BIOLOGÍA	13
<b>3. EL ÁGUILA PERDICERA EN CATALUÑA: ANÁLISIS DEMOGRÁFICO, VIABILIDAD DE LA POBLACIÓN Y APLICACIONES A LA CONSERVACIÓN</b>	<b>17</b>
3.1. INTRODUCCIÓN	19
3.2. MÉTODOS	20
3.2.1. SEGUIMIENTO DE LA POBLACIÓN CATALANA DE ÁGUILA PERDICERA EN 2013 Y ESTIMA DE LOS PARÁMETROS DEMOGRÁFICOS DE 1990 A 2013	20
3.2.2. ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DE MORTALIDAD	21
3.2.3. ANÁLISIS DE VIABILIDAD (AVP)	21
3.3. RESULTADOS	22
3.3.1. CENSO DE LA POBLACIÓN EN 2013 Y PARÁMETROS DEMOGRÁFICOS	22
3.3.2. CAUSAS DE MORTALIDAD	23
3.3.3. ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA POBLACIÓN	25
3.4. DISCUSIÓN	26
<b>4. LA MITIGACIÓN DE LA ELECTROCUCIÓN DEL ÁGUILA PERDICERA: PROTOCOLO PARA OPTIMIZAR LAS ACCIONES DE CONSERVACIÓN</b>	<b>31</b>
4.1. INTRODUCCIÓN	33
4.2. MÉTODOS	35
4.2.1. PROCEDIMIENTO GENERAL Y ÁREA DE ESTUDIO	35
4.2.2. SELECCIÓN Y PRIORIZACIÓN DE LOS TERRITORIOS DE LAS ÁGUILAS CON MENOR SUPERVIVENCIA	35
4.2.3. DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE MAYOR USO POR PARTE DE LAS ÁGUILAS DENTRO DE LOS TERRITORIOS PRIORITARIOS	36
4.2.4. SELECCIÓN DE APOYOS DE MAYOR RIESGO DE ELECTROCUCIÓN	36
4.2.5. IMPLEMENTACIÓN DE LAS CORRECCIONES	37
4.2.6. EVALUACIÓN DE LAS CORRECCIONES	37
4.3. RESULTADOS	38
4.3.1. SELECCIÓN Y PRIORIZACIÓN DE LOS TERRITORIOS DE ÁGUILAS CON MAYOR MORTALIDAD	38
4.3.2. DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE MAYOR USO DENTRO DE LOS TERRITORIOS PRIORITARIOS Y SELECCIÓN DE APOYOS DE MAYOR RIESGO DE ELECTROCUCIÓN	40
4.3.3. IMPLEMENTACIÓN DE LAS CORRECCIONES	41
4.3.4. EVALUACIÓN DE LAS CORRECCIONES	43
4.4. DISCUSIÓN	43

<b>5. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES</b>	<b>47</b>
5.1. <i>BIOLOGÍA DEL ÁGUILA PERDICERA Y SU ESTADO DE CONSERVACIÓN</i>	49
5.2. <i>CENSO DE LA POBLACIÓN EN 2013 Y VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEMOGRÁFICOS DURANTE 1990-2013</i>	49
5.3. <i>CAUSAS DE MORTALIDAD</i>	49
5.4. <i>ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA POBLACIÓN</i>	49
5.5. <i>MITIGACIÓN DE LA ELECTROCUCIÓN DEL ÁGUILA PERDICERA: PROTOCOLO PARA OPTIMIZAR LAS ACCIONES DE CONSERVACIÓN</i>	50
<b>6. AGRADECIMIENTOS</b>	<b>53</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>57</b>

# INTRODUCCIÓN

1





## 1.1. ANTECEDENTES

El águila perdicera es una de las rapaces emblemáticas mediterráneas que desde antaño convive con el hombre en ambientes que éste ha modelado de forma sostenible a través de sus actividades tradicionales. Sin embargo, recientemente el ser humano ha cambiado sus actividades y, con ellas, los paisajes que sostenían la biodiversidad de los ecosistemas mediterráneos y a su vez las poblaciones de águila perdicera que hoy día se encuentran amenazadas en toda Europa.

En Cataluña, hasta los años 70 del siglo pasado existía una nutrida población de águilas perdiceras, alrededor de unas 90 parejas que se distribuían de norte a sur a lo largo de las cordilleras litorales y Prepirineo.

A partir de la década de los años 90 se detectó el abandono progresivo de territorios de águila perdicera, algunos de ellos como en espacios naturales de las comarcas de Barcelona conocidos desde hacía al menos un siglo. La desaparición de águilas fue súbita, en algunos casos los ejemplares desaparecían sin más y, en otros, en lugar de los adultos que ocupaban los territorios tradicionales aparecían ejemplares jóvenes, signo evidente de que algo andaba mal en la población.

La intensificación del seguimiento de la población que llevaba realizándose desde hacía años corroboró que la pérdida de ejemplares era por mortalidad y que una parte importante eran por accidentes de electrocución. El incremento en la accidentalidad por electrocución se sospechó que podría estar relacionado con la instalación de nuevos tendidos para dotar de electricidad zonas rurales y, a

su vez, por la remodelación de los antiguos postes de madera que fueron substituidos por apoyos de metal. Investigados los nuevos tendidos se detectaron ejemplares electrocutados de águila perdicera, así como de otras especies de aves protegidas.

Alertados por el problema, durante el año 2000 la administración gestora de los espacios protegidos de la provincia de Barcelona (Diputación de Barcelona), las compañías eléctricas (FECOSA-ENDESA) y los investigadores del *Equip de Biologia de la Conservació de la Universitat de Barcelona* (EBC-UB) establecieron un convenio para atajar el problema de la electrocución. El convenio a tres bandas dotaba de una responsabilidad específica a cada uno de los signatarios; la Diputación de Barcelona financiaba los estudios científicos de detección de apoyos peligrosos y de seguimiento de las poblaciones de rapaces, la Universidad de Barcelona desarrollaba los conocimientos técnico-científicos y estudios que permitían determinar las medidas de mitigación a tomar y ENDESA aportaba sus conocimientos técnicos para desarrollar medidas antielectrocución conjuntamente con los investigadores y posteriormente las implementaba en los apoyos prioritarios. Simultáneamente la Fundación Miquel Torres de Vilafranca del Penedès, pionera en el apoyo del seguimiento de las águilas en Cataluña, sostenía la investigación científica de las águilas para dotar del conocimiento necesario y apoyaba las medidas de conservación. El trabajo coordinado entre los organismos hasta 2007 permitió establecer un protocolo de trabajo específico y caracterizar el riesgo de electrocución de cerca de más de 20.000 apoyos en la provincia de Barcelona, así como corregir los más prioritarios y posteriormente evaluar los trabajos realizados.



Fotografía 1. El águila perdicera es una de las rapaces ibéricas más amenazadas. Autor: Àlex Ollé.

Posteriormente los organismos implicados dieron continuidad al seguimiento de la población de águilas perdiceras en Cataluña como herramienta básica de diagnóstico del estado de conservación de la población a lo largo del tiempo y a su vez desarrollaron nuevas investigaciones sobre aspectos demográficos clave para analizar la viabilidad de las poblaciones de águila perdicera. Fruto de dichas investigaciones, se elaboraron diversos trabajos científicos que fueron presentados en congresos y publicados en revistas científicas especializadas (Tintó *et al.*, 2001, 2002, 2005, 2009 y 2010; Tintó y Real, 2003, 2004, 2008 y 2011).

En la presente monografía se exponen los resultados obtenidos gracias a los convenios realizados con los organismos mencionados y que consisten en el seguimiento de la población catalana de águila perdicera durante tres décadas, el análisis de los principales parámetros demográficos, la viabilidad de su población y los principales factores implicados en su conservación.

Por otra parte, se expone de forma detallada el protocolo de mitigación de la electrocución de aves desarrollado y las acciones concretas llevadas a cabo con el ánimo que pueda ser un ejemplo a seguir para solventar este problema no solamente en Cataluña sino en otras regiones y para otras especies amenazadas.

**EL ÁGUILA PERDICERA:  
DESCRIPCIÓN  
DE LA ESPECIE,  
DISTRIBUCIÓN, ESTADO  
DE CONSERVACIÓN Y  
BIOLOGÍA**

2



## 2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

El águila perdicera o de Bonelli *Aquila fasciata* fue descrita en 1822 por el naturalista francés Louis Jean Pierre Vieillot, siendo una de las rapaces que habitan Europa descritas más tardíamente. El nombre común de Bonelli se debe a Franco Andrea Bonelli, naturalista italiano que fue quien documentó la especie por primera vez en 1819. Se trata de una ave rapaz de tamaño medio, de unos 1.600-2.400 gr de peso y una envergadura de 150-180 cm. Los adultos se caracterizan por tener el pecho y vientre de color blanco con pequeñas motas marrón oscuro, mientras que el dorso es de color chocolate con una característica mancha blanca que las distingue de otras águilas.



La parte inferior de las alas es variable, con infracobertoras casi negras, a excepción de la parte anterior y borde de ataque alar blanco y las plumas rémiges más claras acabadas en banda oscura. Las plumas rectrices son claras y finalizan en una banda terminal oscura. Los jóvenes durante su primer año de vida tienen pecho y vientre de color rojizo, partes inferiores de las alas de color claro con ausencia de bandas oscuras en las plumas rémiges y rectrices. Los jóvenes deben realizar un mínimo de tres mudas de las plumas corporales y un par en el caso de las plumas de vuelo para alcanzar el plumaje de adulto, situación que ocurre a partir del cuarto año de vida.



Fotografía 2. Hembra adulta de águila perdicera. Autor: Alain Marmasse. Fotografía 3. Ejemplar juvenil de águila perdicera. Autor: Joan Real.

## 2.2. DISTRIBUCIÓN Y ESTADO DE CONSERVACIÓN

El águila perdicera se distribuye desde el sureste asiático, China e India, con poblaciones dispersas en Próximo Oriente, hasta el Mediterráneo. En el área mediterránea sus poblaciones ocupan parte de Oriente Medio, Grecia, el norte de África, especialmente el Magreb, la Península Ibérica, sur de Francia y Sicilia, faltando casi totalmente en la península Itálica. Mientras gran parte de

su distribución está ocupada por la subespecie nominal *Aquila fasciata fasciata*, existe la subespecie *Aquila fasciata renschii* que ocupa el archipiélago de las Islas de la Sonda, en el sudeste asiático (Figura 1). La subespecie antiguamente conocida como *Aquila fasciata spilogaster* que se distribuye desde el sur del Sahara hasta Sudáfrica hoy en día se considera como una especie diferente, *Aquila spilogaster*.



Figura 1. Distribución mundial del águila perdicera, donde se pueden distinguir las dos subespecies, *Aquila fasciata fasciata* (en verde) y *Aquila fasciata renschii* (en rojo). Elaboración propia a partir de BirdLife International (2015).

La población europea de águila perdicera está constituida por unas 920-1.100 parejas. El núcleo principal de esta especie se encuentra en la Península Ibérica, que cuenta, aproximadamente con el 85% del total de la población europea. En la Península ibérica se distribuye principalmente por las sierras costeras mediterráneas de Cataluña, Comunidad Valenciana, Murcia y Andalucía. Es común en el sur de Portugal (Algarve y Alentejo), algunas áreas de Castilla la Mancha y Extremadura, siendo su núcleo más septentrional del Oeste peninsular en los Arribes de Duero. Es más escasa en el Sistema Ibérico y Valle del Ebro donde se distribuye desde Aragón, La Rioja, Navarra y Álava, siendo relicta en Burgos. Está extinguida en Galicia y es relicta en la Cordillera Cantábrica (Figura 2). Cataluña alberga unas 70 parejas, que representan aproximadamente el 7% de la población europea.

A nivel global se estima que la población de águila perdicera del Estado Español sufrió un declive importante, pasando del millar de parejas reproductoras en 1986 a las 733-768 parejas en 2005. Dicho declive probablemente fue desigual, siendo especialmente acusado en las áreas más septentrionales y del centro (Castilla y León, Navarra, Aragón, Madrid y Castilla-La Mancha) así como el litoral mediterráneo (Cataluña, Comunidad Valenciana y Murcia). Mientras en Andalucía y Extremadura, donde reside aproximadamente el 56% de la población de águila perdicera, sus poblaciones parecen haberse mantenido estables durante las últimas décadas

(Real, 2004; Del Moral, 2006).

En Cataluña, el águila perdicera era común a mediados del siglo XX estimándose su población en unas 90 parejas que fue disminuyendo progresivamente hasta finales de dicho siglo. El seguimiento regular de la población permitió observar un fuerte declive durante la década de los 90 hasta llegar a un mínimo poblacional en el año 2000; posteriormente la población de águila perdicera se estabilizó e incluso actualmente presenta una tímida tendencia a la recuperación (Figura 3).

En Europa el águila perdicera está considerada como "En peligro" (BirdLife International / EBCC, 2000) debido al declive generalizado de sus poblaciones y al tamaño reducido de éstas. Por éste motivo, el águila perdicera está incluida en el anexo I de la Directiva 79/409/CEE y 91/244/CEE relativa a la conservación de las aves silvestres, lo que indica que, además de ser una especie protegida en toda la Unión Europea, los estados miembros tienen la obligación de realizar acciones destinadas a la conservación de sus poblaciones y hábitats. En el Estado Español el águila perdicera está incluida en el "Catálogo Español de Especies Amenazadas" (Real Decreto 139/2011) en la categoría "Vulnerable", y en el anexo IV (especie objeto de medidas de conservación especiales en cuanto a su hábitat) de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad y además está incluida en el "Libro rojo de las aves de España" en la categoría "En peligro".

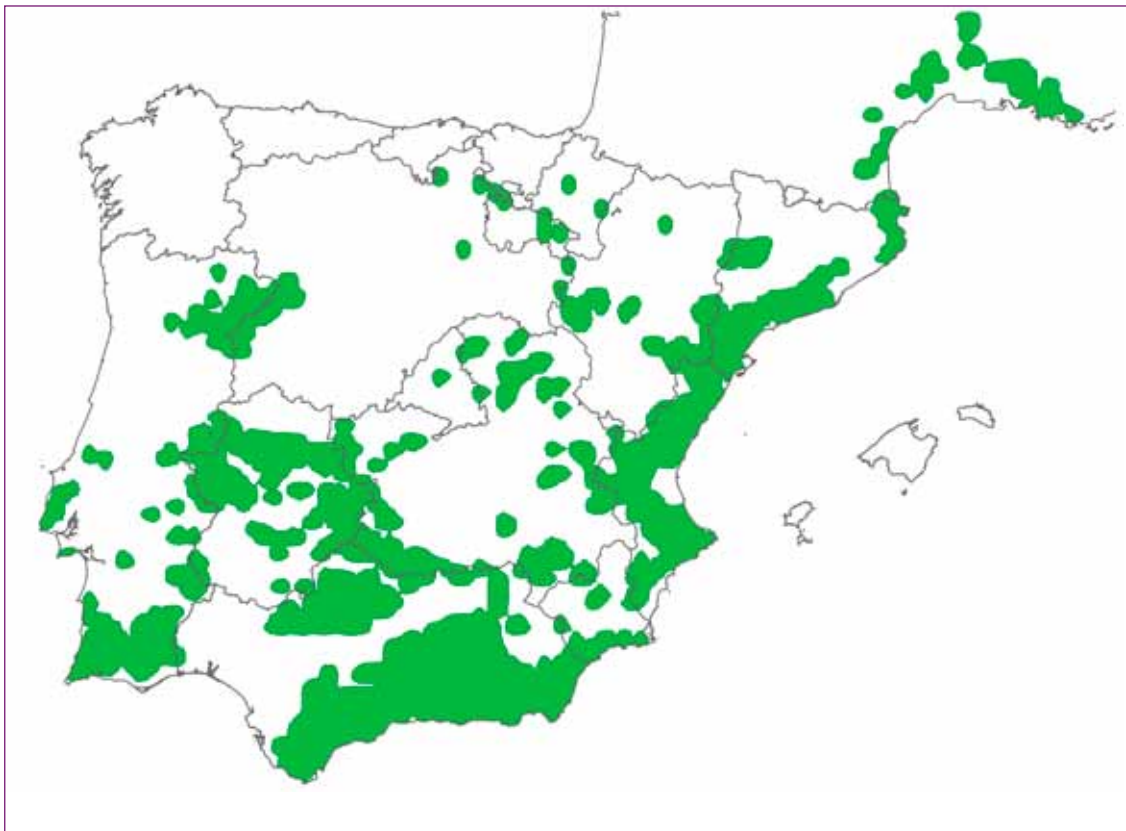


Figura 2. Distribución del águila perdicera en la Península Ibérica y sur de Francia. Fuente: modificado de Hernández-Matías et al. (2013).

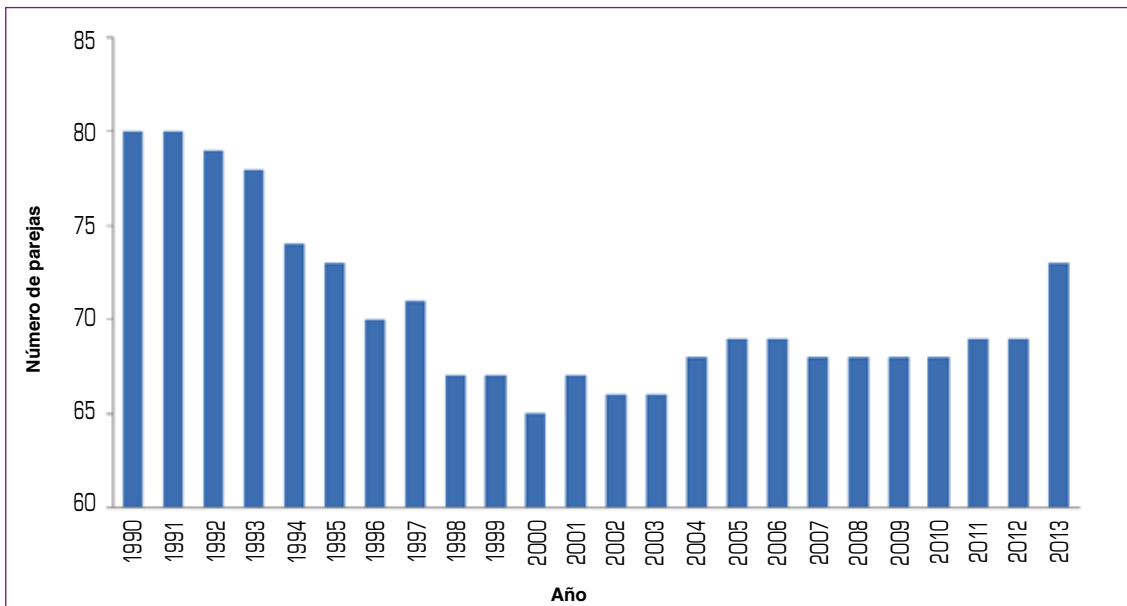


Figura 3. Evolución del número de parejas territoriales de águila perdicera en Cataluña durante el periodo 1990-2013. Fuente: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural, Generalitat de Catalunya.

### 2.3. BIOLOGÍA

El águila perdicera es una especie que vive en áreas de clima mediterráneo, con inviernos suaves, veranos cálidos y bajas precipitaciones (Muñoz *et al.*, 2005). En la Península Ibérica ocupa sierras mediterráneas, colinas o cañones fluviales desde el nivel del mar hasta los 1.500 m de altitud. Las águilas territoriales viven en pareja, y ocupan un territorio durante todo el año, que puede oscilar entre 30 y 250 km<sup>2</sup>. El territorio está determinado por la

presencia de un área de cría que usualmente suele ser un cortado de roca o barranco donde sitúan el nido, aunque algunas parejas lo pueden hacer en árboles y más raramente en apoyos eléctricos de transporte. Las áreas de cría son de gran importancia para las águilas, puesto que no solamente es donde se reproducen sino que además suele ser el área donde descansan, se refugian y duermen durante todo el año, por lo que su conservación es primordial.



Fotografías 4 y 5. Territorios característicos de águila perdicera. Autores: Francesc Parés y Àlex Rollan.



Fotografía 6. Pareja de águilas perdiceras en el nido. Autor: Francesc Parés.



Fotografía 7. Pareja de águilas perdiceras posadas en árbol. Autor: Francesc Parés.

Otra parte importante del territorio de las águilas es el área de caza, donde obtienen el sustento diario para ellas y sus crías. Las áreas de caza se componen principalmente de matorral que a menudo alterna con pequeños cultivos de secano, puesto que en este mosaico de hábitats es donde existe la mayor abundancia de presas. Estas áreas son utilizadas todo el año, pero en situaciones de escasez de alimento o hábitats no adecuados, las águilas pueden realizar desplazamientos importantes de decenas de kilómetros hasta áreas ricas en presas, donde pueden establecerse temporalmente.

El desplazamiento a áreas alejadas o no habituales de campo puede acarrear consecuencias negativas para ellas, puesto que al ser áreas desconocidas y a menudo humanizadas pueden conllevar más riesgos para su supervivencia. Además al no custodiar sus áreas de cría existe el riesgo que éstas sean usurpadas por otros competidores.



Fotografía 8. Los hábitats de matorral mediterráneo son los preferidos por el águila perdicera para cazar. Autor: EBC-UB



Fotografía 9. Los hábitats en mosaico que alternan cultivos de secano, pequeños bosques y matorrales son ricos en presas y muy favorables para el águila perdicera. Autor: Àlex Rollan.

Las águilas jóvenes una vez abandonan sus territorios de nacimiento y se emancipan, aspecto que ocurre entre dos y tres meses después de volar del nido, emprenden un período de divagancia o

nomadismo llamado de dispersión, asentándose temporalmente en áreas que se caracterizan por tener elevada disponibilidad de alimento y la ausencia de adultos reproductores. Durante este período las jóvenes águilas pueden realizar grandes desplazamientos de hasta más de 1.000 km, así se conocen águilas nacidas en Cataluña observadas en Cádiz o el norte de Francia, aunque también se conocen casos de águilas asentadas temporalmente próximas a su área de nacimiento.

Las áreas de dispersión conocidas más relevantes se encuentran en el Valle del Tajo, la sierra de Escalona (Alicante-Murcia), zonas de la campiña de Albacete, la plana de Lleida, la Serena en Extremadura y cercanías de la laguna de la Janda en Cádiz.



Fotografía 10. Área de dispersión en la plana de Lleida, caracterizada por cultivos de secano que alternan con áreas de matorral. Autor: Àlex Rollan.



Fotografía 11. Ejemplar juvenil en vuelo. Autor: Àlex Ollé.

El águila perdicera se alimenta de aves, mamíferos y reptiles de pequeño y mediano tamaño, como son conejos, liebres, ardillas, perdices, palomas torcazes y domésticas, córvidos, aves acuáticas y lagartos. Sin embargo, se considera que sus presas óptimas son el conejo y la perdiz, ya sea por su abundancia y facilidad de captura, como por la cantidad de alimento que pueden proporcionar en comparación con otras presas.





Fotografías 12 y 13. Conejo y perdiz roja, presas óptimas del águila perdicera. Autor: Àlex Rollan.

El ciclo anual del águila perdicera empieza a finales otoño, cuando las parejas territoriales realizan los primeros vuelos de cortejo que suelen ser picados y ascensos súbitos cercanos al área de cría. Estos vuelos, además de servir para marcar el territorio ante posibles competidores, sirven para que la pareja empiece a sincronizar las tareas reproductoras. A partir de este período las parejas empiezan a construir el nido, bien sea utilizando alguno de los existentes de años anteriores o construyendo uno nuevo. Dicha tarea suele realizarla el macho para que, una vez llegado el mes de diciembre o enero, la hembra se incorpore en las tareas de construcción del nido. La puesta es de entre 1 y 3 huevos, generalmente dos, y suele realizarse entre finales de enero y mediados de marzo, muy tempranamente en el sur de la Península, y más tardíamente en el centro y norte.

Después de unos 40 días de incubación nacen los pollos totalmente desvalidos, que serán cubiertos y cebados por la hembra con las presas cazadas y aportadas al nido por el macho. A medida que los pollos crezcan y sean capaces de mantener su temperatura corporal, la hembra los dejará más tiempo solos y se dedicará también a la caza. Los pollos saldrán del nido entre los 60 y 70 días de edad. Estarán el primer mes en un área cercana al nido, siendo vigilados y alimentados por sus progenitores y aprendiendo las técnicas de vuelo. A partir del segundo mes realizarán desplazamientos mayores y se iniciarán en las técnicas de caza, emancipándose entre los dos y tres meses de edad después de volar del nido. A partir de entonces iniciarán su período de dispersión, que durará entre 2 y 5 años hasta que se instalen en un territorio como reproductores.



Fotografía 14. Pareja de águilas perdiceras realizando los primeros vuelos de cortejo en otoño. Autor: Sébastien Durand.



Fotografía 15. Pollos de águila perdicera a mitad de su crecimiento. Autor: Carles Barés.



Fotografía 16. Pollo al final de su crecimiento a punto de abandonar el nido (derecha), donde permanecen entre 60 y 70 días. Autor: Francesc Parés.



**EL ÁGUILA PERDICERA  
EN CATALUÑA:  
ANÁLISIS DEMOGRÁFICO,  
VIABILIDAD DE LA  
POBLACIÓN Y APLICACIONES  
A LA CONSERVACIÓN**

3



### 3.1. INTRODUCCIÓN

---

La pérdida de biodiversidad es uno de los fenómenos ambientales más preocupantes que actualmente atañe a todo el planeta, especialmente al área mediterránea que se considera uno de los "puntos calientes" de biodiversidad a nivel global. Esta pérdida de biodiversidad se traduce en una alta tasa de extinción de especies, la más elevada conocida en miles de años (M. de Vos *et al.*, 2014), pero a su vez en la regresión continuada de las poblaciones de muchas otras. La regresión poblacional de una especie se manifiesta con la disminución del número de individuos y de su área de distribución, lo cual indica que directa o indirectamente existe un desequilibrio demográfico en la población. Para evaluar el estado de una población y conocer si se encuentra en regresión es necesario, en primer lugar, recabar información detallada sobre los parámetros demográficos que regulan la población. Estos parámetros hacen referencia a las "entradas" (reproducción e inmigración) y las "salidas" (mortalidad y emigración) de individuos en la población, cuyo balance determina la tendencia demográfica de la misma. Así mismo, la variación en el tiempo de dichos parámetros puede proporcionar información relevante para evaluar el estado de conservación de las especies estudiadas.

Para atajar la disminución de las poblaciones de las especies, y por lo tanto prevenir el umbral de su extinción, es indispensable conocer y diagnosticar adecuadamente no solamente su estado poblacional sino también los factores implicados en su regresión.

En el caso de las aves y en concreto del águila perdicera, una de las medidas de las "entradas" de individuos en una población es su capacidad de reproducción que usualmente se mide mediante la *productividad*, tasa que se define como el número de pollos volados por territorio ocupado por pareja de águilas (realicen puesta o no) y año. Se trata de un parámetro relativamente fácil de obtener una vez son conocidos los territorios ocupados por las águilas y hace referencia a los pollos que han volado del nido y que, por lo tanto, han sido criados con éxito. La productividad es un parámetro indicador de la calidad de los individuos que componen las parejas reproductoras y de sus territorios. Si es baja, indica que hay factores que limitan la capacidad reproductora de las águilas debido ya sea a características de los individuos territoriales (inmadurez sexual, falta de experiencia, presencia de tóxicos, etc.) o de los territorios donde viven (falta de alimento, molestias a los nidos o elevadas tasas de mortalidad).

En cuanto a las "salidas" de la población, estas están causadas bien por emigración o por la muerte de individuos, por lo que es muy relevante conocer las tasas de supervivencia de los individuos a lo largo de su vida. Una de las tasas relevantes para especies consideradas de larga vida como las águilas es la supervivencia de los ejemplares adultos. En este sentido la *supervivencia adulta* es la

que atañe a los individuos de águila perdicera a partir de su cuarto año de vida, cuando mayoritariamente presentan comportamiento territorial y viven en pareja. Se trata de un parámetro fundamental que determina la evolución demográfica de las poblaciones y, por lo tanto, su viabilidad. Este parámetro juega un papel muy relevante en el caso de especies denominadas estrategias de la K o de larga vida, como es el caso del águila perdicera. Esto es debido a que dichas especies ya de por sí presentan supervivencias elevadas, de forma que los ejemplares adultos pueden vivir durante muchos años en condiciones normales no comprometiéndose la viabilidad de sus poblaciones aunque sus tasas de reproducción sean bajas. Como consecuencia, la muerte de ejemplares adultos tiene repercusiones muy negativas sobre el total de efectivos de la población. Adicionalmente, la muerte de los individuos adultos, que suelen ser los más experimentados y poseen elevada capacidad de reproducirse, puede provocar la pérdida de la nidada y la ausencia de reproducción en el territorio durante varias temporadas. En definitiva, si la mortalidad de los adultos se incrementa anormalmente, peligra la población. Razón por la cual, estimar los valores de supervivencia e identificar las principales causas de mortalidad es fundamental para promover e implementar las medidas de conservación adecuadas.

Otro parámetro muy relevante, especialmente en especies que tardan varios años en alcanzar la madurez sexual, es la supervivencia durante la fase en que no son adultos, que en el caso del águila perdicera corresponde mayoritariamente a individuos no territoriales y que no están emparejados. En este sentido la tasa de *supervivencia preadulto* en el águila perdicera corresponde a los tres primeros años de vida. Se trata también de un parámetro fundamental para la conservación de la población puesto que los ejemplares supervivientes serán aquellos que podrán compensar las pérdidas de ejemplares territoriales. En este sentido, uno de los problemas que se encuentran los investigadores y gestores es la dificultad en la estima de la supervivencia de los ejemplares no territoriales. Mientras los ejemplares territoriales suelen ser relativamente fáciles de monitorizar por ocupar siempre los mismos territorios, los ejemplares no territoriales o dispersantes son más difíciles de seguir a causa de su nomadismo y, por ello, hasta hoy día existe muy poca información al respecto. Además, durante el período de dispersión en que las águilas no adultas realizan largos desplazamientos, acostumbra a asentarse en las llamadas áreas de dispersión, que generalmente presentan una gran riqueza de presas, pero que a menudo entrañan peligros importantes como la persecución y la presencia de tendidos eléctricos potencialmente peligrosos.

El conocimiento y análisis de los parámetros demográficos de una población es esencial para conocer si existe un desequilibrio

demográfico de ésta y a su vez en qué medida cada uno de ellos contribuye a la regresión de la población siendo indicadores fundamentales a la hora de establecer medidas de conservación. En este sentido una herramienta adecuada para predecir la evolución demográfica de las poblaciones es el llamado Análisis de Viabilidad de Poblaciones (AVP). Se trata de un conjunto de métodos cuantitativos que permite predecir el estado futuro más probable de una población o conjunto de poblaciones. Adicionalmente, es posible evaluar el destino de la población ante un amplio rango de situaciones diferentes a la actual. Por ejemplo, ante un cambio de alguna de las tasas demográficas (incremento o decremento de la productividad, supervivencia...), el AVP permite conocer como evolucionaría el número de individuos de la población a lo largo del tiempo. Los AVPs permiten estimar la sensibilidad o influencia de los diferentes parámetros (productividad, supervivencia) sobre las variaciones en la tendencia poblacional, es decir permiten conocer aquéllos parámetros o fases del ciclo vital de la especie que tienen más influencia en la evolución numérica de la población y en consecuencia sobre los que es más óptimo actuar para conservarla. Por lo tanto, los AVPs proporcionan información técnica y científica de gran valor para guiar el establecimiento de medidas de conservación y evaluar su posible efecto sobre poblaciones de especies amenazadas o en peligro.

El objetivo de este capítulo es diagnosticar el estado demográfico de la población catalana de águila perdicera en 2013, así como caracterizar sus principales parámetros demográficos en el período de 1990-2013, analizarlos a lo largo del tiempo y utilizarlos como indicadores del estado de conservación de dicha población. Finalmente, se trata conocer las causas de mortalidad y realizar un Análisis de Viabilidad de la Población para evaluar, bajo diferentes escenarios, cuáles debieran de ser los parámetros demográficos adecuados para que dicha población se mantuviera estable a lo largo del tiempo.

## 3.2. MÉTODOS

### 3.2.1. Seguimiento de la población catalana de águila perdicera en 2013 y estima de los parámetros demográficos de 1990 a 2013

Durante el año 2013 se hizo un censo y muestreo de los territorios conocidos de águila perdicera en las provincias de Girona, Barcelona y Tarragona, aproximadamente el 70% de los territorios de la población catalana (ver Figura 2). El objetivo de dicho seguimiento era tener un diagnóstico del estado de la población actual y poderlo comparar con el seguimiento a largo plazo ininterrumpido realizado desde 1990. La información básica a obtener fue el número de territorios ocupados (censo), los individuos pre-

sentes y su edad para determinar las tasas de supervivencia y las tasas reproductoras.

Para la realización del censo y la determinación de la edad de los individuos presentes se realizaron visitas a las áreas de cría durante los meses de enero y febrero. La edad de los individuos territoriales se pudo determinar a partir de la evolución del plumaje conocida para esta especie (Forsman, 1999), clasificándose los individuos en alguna de las cuatro clases de edad consideradas: jóvenes, inmaduros, sub-adultos (individuos durante el primer, segundo y tercer año de edad, respectivamente) y adultos (individuos durante su cuarto año de edad o mayores). Durante los meses de febrero y marzo se realizaron observaciones en las áreas de cría para determinar si hubo puesta. Se consideró que se había realizado una puesta cuando el águila fue observada sobre el nido arreglado en posición de incubación. A partir de marzo y hasta junio se realizaron varias jornadas para determinar la presencia de pollos y su desarrollo hasta el vuelo. Se consideró como pollos voladeros aquéllos observados en el nido a los 55-60 días de edad. El seguimiento de las águilas se realizó a distancia por medio de prismáticos y telescopios terrestres.



Fotografía 17. Algunos componentes del Equip de Biologia de la Conservació de la Universitat de Barcelona durante las tareas de seguimiento de campo. Autor: EBC-UB.

La estima de la tasa de supervivencia anual de los ejemplares territoriales se obtuvo como el complementario de la mortalidad ( $\text{supervivencia} = 1 - \text{mortalidad}$ ) que fue estimada mediante la tasa de desaparición de individuos de un año hasta el siguiente, asumiendo que los ejemplares desaparecidos habían muerto. Esta asunción es razonable dada la elevada fidelidad al territorio que presentan los individuos territoriales. Se consideró que un individuo había desaparecido de un territorio durante un año cuando el número de ejemplares en el mismo territorio en el año siguiente fue menor (por ejemplo, cuando un territorio estaba ocupado por dos ejemplares emparejados y el año siguiente por uno sólo), o cuando un ejemplar de sexo y plumaje conocido el año siguiente tenía un plumaje-edad que no le correspondería (por ejemplo, cuando un macho de plumaje de adulto al año siguiente era susti-

tuido por otro macho de plumaje de dos años de edad). Puesto que este método generalmente no permite detectar las posibles sustituciones de ejemplares con plumajes de la misma edad, la tasa de desaparición observada se corrigió asumiendo que un porcentaje de sustituciones no son detectables, obteniendo entonces la tasa de sustitución corregida (ver Hernández-Matías *et al.*, 2011a para más detalles).

La supervivencia durante los tres primeros años de vida (supervivencia preadulto) se obtuvo mediante modelos estadísticos que permiten estimar la supervivencia a partir de las historias de captura y posterior reavistamiento de animales individualizados, ya sea de ejemplares vivos o de aquellos encontrados muertos, y considerando que la detección es imperfecta, es decir, que no todos los individuos pueden ser detectados. En el presente estudio y para estimar la supervivencia preadulto se partió de datos disponibles de la población francesa de la especie; en concreto, se utilizó el historial de capturas (como pollos) y posterior reavistamiento de ejemplares anillados en el sureste de Francia durante el período 1990-2008 (Hernández-Matías *et al.*, 2011b), que son los únicos datos de este tipo disponibles para la especie.

### 3.2.2. Análisis de las causas de mortalidad

Si bien para analizar las tendencias demográficas de una población se necesitan únicamente los parámetros demográficos, para realizar un diagnóstico adecuado de poblaciones en declive y en especial aquellas que tienen bajas tasas de supervivencia es esencial conocer los factores implicados, es decir, las causas de mortalidad.

El análisis de las causas de mortalidad del águila perdicera en Cataluña se realizó a partir de la recopilación de información de los

individuos encontrados muertos o heridos en Cataluña durante el período 1960-2013, así como de aquellos que habiendo nacido en Cataluña, se encontraron muertos o heridos en otras áreas. Se estableció el 1960 como el inicio del período porque es a partir de ese año que existen registros de las causas de muerte de águila perdicera con cierta regularidad. También se realizó un segundo análisis restringido al período más reciente 1990-2013, para el cual existe un mayor volumen de datos y que se ajusta al período en el que se han estimado las principales tasas vitales en la población. Las fuentes de información utilizadas fueron las propias del seguimiento a largo plazo y de proyectos de investigación específicos por parte del equipo de investigación (prospección, anillamiento, radioseguimiento,...), los centros de recuperación de fauna, la Oficina de Anillamiento del Ministerio de Medio Ambiente, el *Servei de Biodiversitat i Protecció dels Animals* de la Generalitat de Catalunya, e información proporcionada por otros grupos de investigación. Adicionalmente, se estudió si existió una variación temporal en la incidencia de las diferentes causas de mortalidad, comparando el período 1960-1989 y 1990-2013.

### 3.2.3. Análisis de viabilidad (AVP)

Para la realización de un AVP del águila perdicera, se consideró que su ciclo vital constaba de 5 clases de edad (Figura 4): pollos que vuelan, jóvenes, inmaduros, sub-adultos (individuos de 0, 1, 2 y 3 años de edad, respectivamente) y adultos (individuos de 4 años de edad o más). Dado que en lo que respecta a las cuestiones reproductivas, el papel determinante lo desempeñan las hembras y no los machos, se consideró el número de hembras de cada clase de edad (ver Morris y Doak, 2002, para más información).

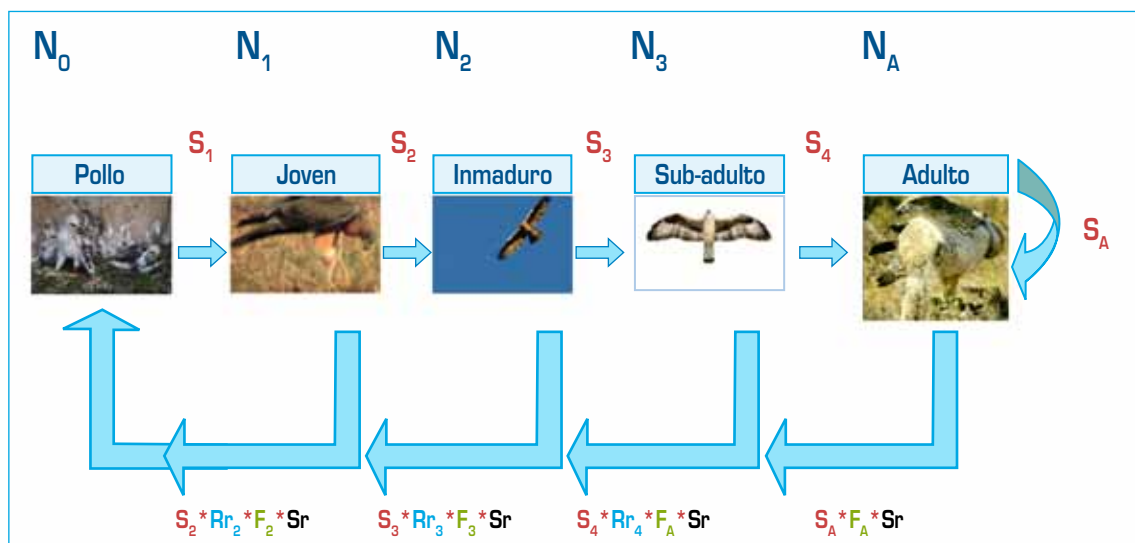


Figura 4. Ciclo vital del águila perdicera considerado en los modelos demográficos. Se muestra el número de individuos de cada clase de edad ( $N_0, N_1, N_2, N_3$  y  $N_A$ : pollo, 1, 2, 3 y 4 o más años de edad, respectivamente), así como los principales parámetros demográficos: supervivencia (en rojo;  $S_1, S_2, S_3, S_4$  y  $S_A$ : supervivencia durante el primer, segundo, tercer, cuarto y quinto y posteriores años de edad), proporción de reproductores (en azul;  $Rr_2, Rr_3$  y  $Rr_4$ : proporción de reproductores en individuos de 2, 3 y 4 años de edad), productividades (en verde;  $F_2, F_3$  y  $F_A$ : productividad de individuos de 2, 3 y 4 o más años de edad) y relación de sexos ( $Sr$ ).

Basándose en el ciclo vital y los parámetros demográficos estimados, se construyó un modelo demográfico útil para realizar proyecciones sobre el destino demográfico más probable de la población catalana de águila perdicera durante los próximos 50 años. En concreto, se realizaron tres bloques de simulaciones, cada uno de ellos encaminado a responder diferentes cuestiones de interés para la conservación de la especie. En el primero, el objetivo fue determinar si la población era autosostenible; es decir, si los nacimientos que se producen permiten compensar las muertes de ejemplares. Para ello, se asumió que la población catalana era cerrada, es decir, que no intercambiaba individuos con otras poblaciones vecinas. Si bien esta asunción no es realista, puesto que es conocido que las diferentes poblaciones del rango Franco-Ibérico intercambian individuos, se trata de una asunción útil para abordar el objetivo planteado. En el segundo bloque de simulaciones, el objetivo fue conocer los niveles de supervivencia adulta necesarios para garantizar la autosostenibilidad de la población. Así pues, también se asumió que la población era cerrada, pero en este caso se generaron diversas proyecciones en que se iba variando el nivel de supervivencia. En el tercer bloque de simulaciones, el objetivo fue estimar la viabilidad de la población considerando el escenario más realista en base al conocimiento actual; es decir, aquel que consideraba la estructura espacial del conjunto de la población Franco-Ibérica de la especie. Para ello, se tuvieron en cuenta un conjunto de 10 poblaciones, definidas a partir de las poblaciones locales de diferentes áreas geográficas del Estado Español, de Francia y Portugal (Figura 2), agrupando aquellas poblaciones según su proximidad geográfica y la similitud de características demográficas y ambientales. Además, para calcular la probabilidad de intercambio de ejemplares entre poblaciones se consideró la probabilidad de dispersión de los jóvenes en función de la distancia al nido de origen, obtenida a partir de la observación de ejemplares territoriales anillados y de origen conocido en Francia o Cataluña (Hernández-Matías *et al.*, 2010). En este caso, se asumió que las poblaciones estaban reguladas por densodependencia, es decir, que no podían sobrepasar un determinado número de territorios en un área determinada. Este límite máximo de la población tiene sentido en especies territoriales y, particularmente en especies con requerimientos ecológicos específicos como el águila perdicera, y se estableció en base a los máximos históricos conocidos para las diferentes áreas.

La medida de viabilidad de la población que se utilizó fue la tasa de crecimiento poblacional anual. Este parámetro se estimó a partir de la media geométrica de las tasas de crecimiento poblacionales anuales para el periodo de 50 años, estimadas como el cociente entre el número de parejas territoriales de una población en un año y el número de parejas territoriales del año anterior. Esta tasa es una medida habitual de viabilidad que cuantifica el cambio interanual del tamaño de la población, de forma que los valores mayo-

res de 1 indican crecimiento, mientras que los valores menores de 1 indican decrecimiento.

Finalmente, puesto que no todos los parámetros demográficos o estadios del ciclo vital tienen el mismo efecto en la dinámica poblacional, se estimó qué parámetros tenían un efecto más relevante en la tasa de crecimiento poblacional, mediante el cálculo de la sensibilidad. La sensibilidad de la tasa de crecimiento poblacional a un parámetro demográfico es la relación entre el incremento en la tasa de crecimiento anual y el incremento del parámetro en cuestión, ambos en valores absolutos. En otras palabras, mide la magnitud de cambio de la tasa de crecimiento poblacional debido a un cambio en un determinado parámetro demográfico. De esta forma, se puede indicar cuáles son los parámetros o estadios del ciclo de vida en los que determinadas medidas de conservación tendrán un efecto superior en la tasa de crecimiento y, por lo tanto, en la viabilidad de la población.

### 3.3. RESULTADOS

#### 3.3.1. Seguimiento de la población catalana de águila perdicera en 2013 y estima de los parámetros demográficos de 1990 a 2013

Durante la temporada de reproducción del año 2013 se prospectaron 58 territorios, de los que 52 estaban ocupados por parejas territoriales, 5 se mantuvieron desocupados como en años anteriores y en otro más no se pudo determinar su ocupación. De los 52 territorios ocupados en 2013, las águilas hicieron puesta en 47 de ellos, llegando a volar 37 pollos. La productividad observada fue de 0,71 pollos volados por pareja territorial, el valor más bajo registrado en Cataluña desde 1990 (Figura 5) y que en promedio fue de 1,02 pollos volados por pareja durante 1990-2013. Cabe mencionar que la población catalana de águila perdicera ha sufrido una disminución progresiva de la productividad, bajando de 1,08 pollos volados por pareja en 1990-2005 hasta 0,89 en 2006-2013.

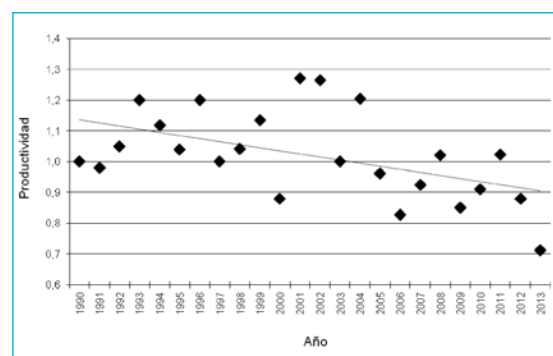


Figura 5. Productividad de la población territorial de águila perdicera en Cataluña durante el periodo 1990-2013. La línea discontinua muestra la tendencia negativa de este parámetro demográfico durante este periodo.



Durante el año 2013, la supervivencia anual de la población territorial fue del 93,76%. Se trata de un valor de supervivencia anual de los ejemplares territoriales muy superior a los estimados para el período 1990-2013 (88,92%). En este sentido, mientras en 2011 se observó el valor de supervivencia más bajo conocido para esta población (81,81%), posteriormente los valores estimados en 2012 y 2013 rompen la tendencia negativa que mostraba este parámetro demográfico siendo superiores a la media del periodo de seguimiento. Se desconoce si se trata de una situación circunstancial o de un cambio en la tendencia (Figura 6).

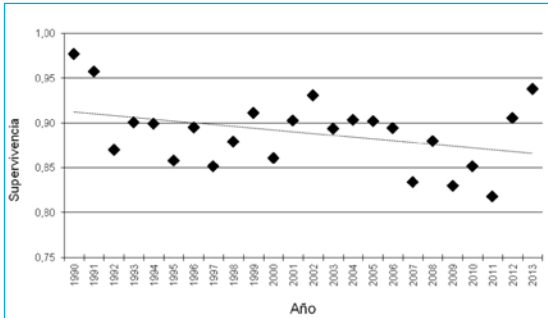


Figura 6. Supervivencia de la población territorial adulta de águila perdicera en Cataluña durante el período 1990-2013. La línea discontinua muestra la tendencia negativa de este parámetro demográfico durante este período.

Las estimas de supervivencia preadultas se obtuvieron a partir de la información de la captura (como pollos) y posterior reavistamiento de 423 pollos en el sureste de Francia que fueron anillados durante el período 1990-2008.

En base a estos datos, la supervivencia anual se estimó en 0,479 para individuos durante su primer año de vida y en 0,570 para individuos tanto en su segundo como en su tercer año de vida.

### 3.3.2. Causas de mortalidad

Para el estudio de las causas de mortalidad de las águilas se recogió información de los ejemplares encontrados muertos o heridos durante el período de 1960 hasta 2013 y cuando fue posible se determinó la causa para cada uno de ellos. Dicha información es una estima de las causas de muerte de las águilas perdiceras en Cataluña y podría estar sujeta a sesgos en el caso de que la probabilidad de encuentro difiera para cada tipo de causa. En total y durante el período 1960-2013 se tuvo conocimiento de 171 individuos muertos o heridos de águila perdicera en los que se determinó la causa de muerte (Figura 7A). De éstos, 85 murieron por electrocución (49,71%), 39 por disparo (22,81%), 9 por colisión con cables eléctricos (5,26%), 9 por ahogamiento en balsas (5,26%), 5 por causas naturales (2,92%), 4 por persecución mediante trampas u otros métodos (2,34%), 3 por envenenamiento (1,75%), 3 por depredación (1,75%), 2 por colisión con

vallados (1,17%), 2 por atropello con vehículos (1,17%) y 10 por causas desconocidas (5,85%).



Fotografía 18. Ejemplar de águila perdicera electrocutada en un apoyo eléctrico. Autor: EBC-UB.



Fotografía 19. Quemaduras en la garra de un águila perdicera consecuencia de una electrocución. Autor: EBC-UB.



Fotografía 20. Radiografía realizada a un águila perdicera muerta a causa de un disparo. En la radiografía se pueden apreciar, con puntos claros, los perdigones incrustados en el cuerpo del ejemplar. Autor: EBC-UB.

Si nos ceñimos al período más reciente de 1990-2013 (Figura 7B), se registraron 134 individuos muertos o heridos de águila perdicera, de los cuáles se pudo determinar que al menos 56 eran individuos territoriales y 72 eran no territoriales. Del global de

individuos, 76 murieron por electrocución (56,72%), 22 por disparo (16,42%), 7 por colisión con cables eléctricos (5,22%), 7 por ahogamiento en balsas (5,22%), 3 por causas naturales (2,24%), 3 por envenenamiento (2,24%), 2 por persecución mediante trampas u otros métodos (1,49%), 2 por depredación (1,49%),

2 por colisión con vallados (1,49%), 1 por atropello con vehículos (0,75%) y 9 por causas desconocidas (6,74%) (Figura 8). Además, también se observó que los individuos no territoriales mostraron una mayor proporción de muertes por electrocución (66,67%) que los individuos territoriales (48,21%).

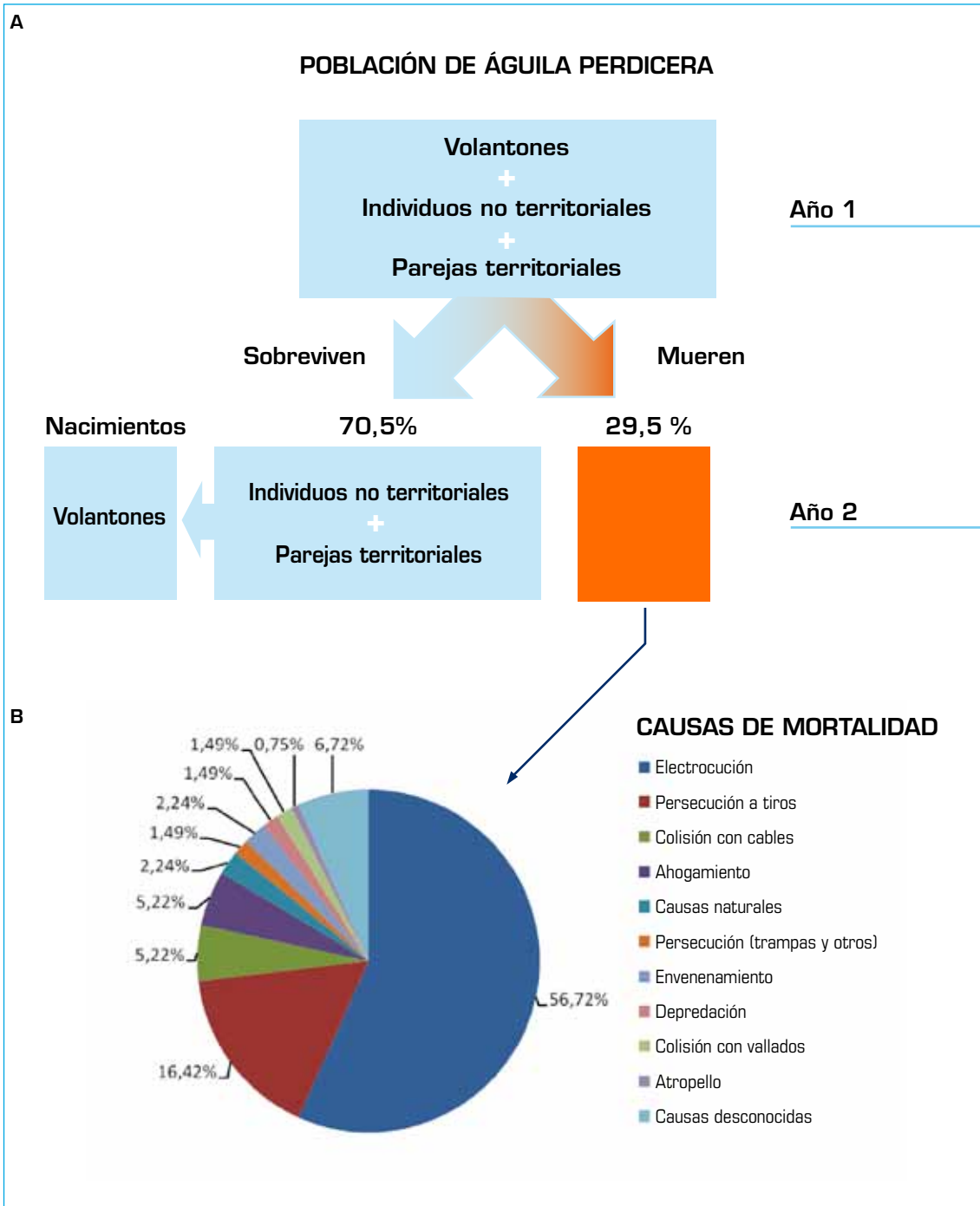


Figura 7. Representación gráfica del porcentaje de individuos de la población de águila perdicera que sobreviven, mueren y nacen en un ciclo anual (A) y de las causas de mortalidad de aquellos individuos que mueren (B). En la subfigura A se representa el tamaño de la población a final de primavera, cuando los pollos vuelan del nido, en dos años consecutivos. En el año 1, la población está compuesta por individuos volantones (nacidos en el mismo año), individuos no territoriales (en su mayoría individuos en dispersión que no son adultos) y parejas territoriales (en su mayoría individuos adultos que muestran comportamiento territorial y que están emparejados). En el año 2, en la misma época, la población está compuesta por los volantones (nacidos en el mismo año) y los individuos que han sobrevivido desde el año anterior, aproximadamente un 70,5%. Mientras que aproximadamente un 29,5% de los individuos vivos el año anterior han perecido. En la subfigura B se muestran los porcentajes de muertes provocadas por las diferentes causas de mortalidad de los individuos de águila perdicera hallados durante el período 1990-2013.

Por lo que respecta a la variación de las causas de mortalidad a lo largo del tiempo, se observa un incremento de la electrocución, pasando de significar el 24,32% (37 ejemplares; 1,23 casos/año) durante el período 1960-1989 al 56,72% (76 ejemplares; 3,30 casos/año) durante 1990-2013 (Figura 8). Contrariamente, la importancia relativa de la muerte por disparo o mediante trampas u otros métodos, la segunda causa de mortalidad por orden de importancia, pasó de significar del 51,35% durante el período 1960-1989, al 17,91% durante 1990-2013. Sin embargo, los casos de muerte por estas causas de persecución directa en números absolutos fueron de 19 (1960-1989) y 24 (1990-2013), lo que supone, respectivamente, un promedio de 0,63 y 1,85 casos por año, por lo que no se puede concluir que la persecución directa que sufre esta especie haya disminuido.

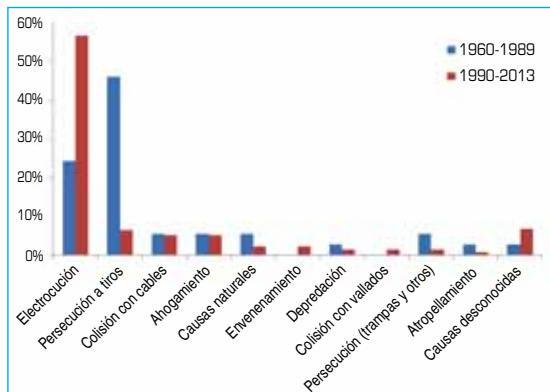


Figura 8. Variación temporal de las causas de mortalidad de la población de águila perdicera en Cataluña durante el período 1960-2013.

### 3.3.3. Análisis de viabilidad de la población

En el primer bloque de simulaciones, población sin intercambio con otros núcleos poblacionales, el modelo demográfico obtenido predice una tasa de crecimiento anual de 0,97 para la población catalana de águila perdicera. Ello significa que dicha población sufriría un descenso continuado del 3% anual en el número de parejas territoriales, lo que la llevaría a unos niveles cercanos a la extinción a 50 años vista (Figura 9).

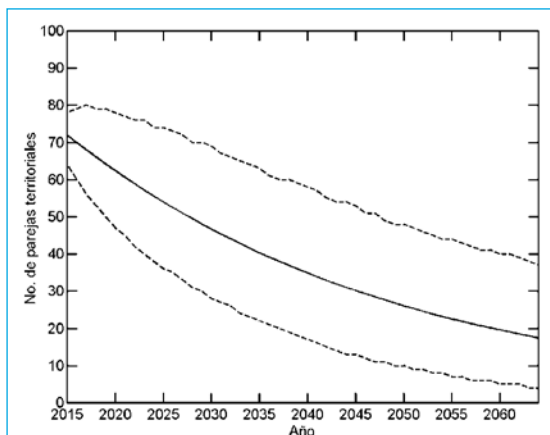


Figura 9. Tendencia poblacional esperada de la población territorial de águila perdicera en Cataluña durante el período 2015-2065 asumiendo que no existe intercambio individuos con otras poblaciones vecinas. Las líneas discontinuas indican el intervalo de confianza del  $\pm 95\%$ .

Bajo las asunciones de dicho escenario, la simulación sugiere que la población catalana con los parámetros estimados para el período 1990-2013 no sería autosostenible. De hecho, el segundo bloque de simulaciones ilustra que para que fuera autosostenible debería tener una supervivencia adulta de aproximadamente 0,925 (manteniendo el resto de parámetros demográficos con los valores estimados) (Figura 10).

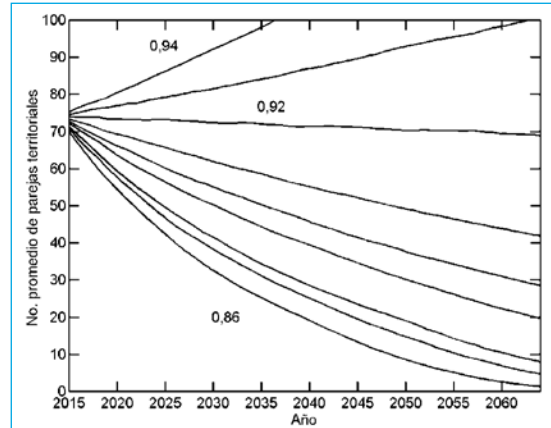


Figura 10. Tendencia poblacional promedio esperada de la población territorial de águila perdicera en Cataluña durante los próximos 50 años asumiendo que no intercambia individuos con otras poblaciones vecinas, y bajo nueve escenarios de supervivencia adulta desde 0,86 hasta 0,94 (incrementos de 0,01).

En cambio, en el tercer bloque de simulaciones, donde se considera que la población catalana de águila perdicera tendría intercambios de individuos con otras poblaciones de la Península Ibérica y del sur de Francia, la tasa de crecimiento estimada para la población catalana sería de 1,004, lo que comportaría un incremento anual del 0,4% en el número de parejas territoriales hasta llegar a un máximo de 90 parejas en un período de 50 años, que es la capacidad de carga estimada para Cataluña puesto que este es el máximo histórico de parejas territoriales conocido (Figura 11).

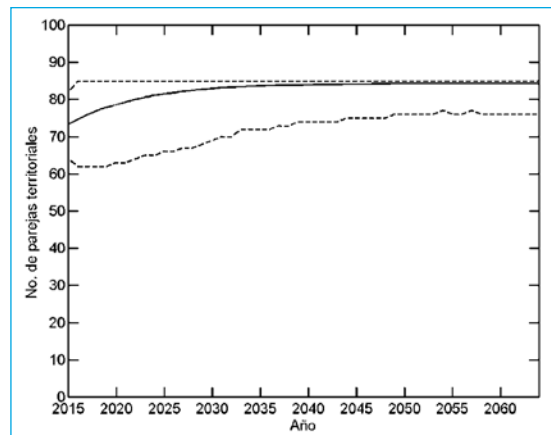


Figura 11. Tendencia poblacional esperada de la población territorial de águila perdicera en Cataluña durante el período 2015-2065 bajo el modelo que asume que la población intercambia individuos con otras poblaciones vecinas. Las líneas discontinuas indican el intervalo de confianza del  $\pm 95\%$ .

Finalmente, el análisis de la sensibilidad aplicado a la población catalana de águila perdicera muestra unos valores muy elevados para la supervivencia adulta (1,616) y en menor grado para la supervivencia durante el segundo y tercer año de vida (0,596), mientras que la sensibilidad es baja para la supervivencia durante el primer año (0,336) y la productividad (0,050) (Figura 12). En otras palabras, aquellas medidas de conservación que permitan aumentar los niveles de supervivencia son las que tendrán un mayor impacto positivo sobre la viabilidad de la población.

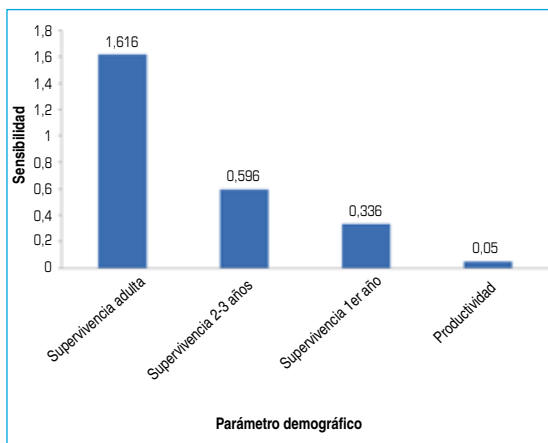


Figura 12. Valores de sensibilidad de la tasa de crecimiento poblacional a los principales parámetros demográficos. La sensibilidad corresponde a la relación entre el incremento en la tasa de crecimiento anual y el incremento del parámetro en cuestión, ambos en valores absolutos; de forma que, dicha medida permite detectar cuáles son los parámetros o estadios del ciclo de vida en los que determinadas medidas de conservación tendrán un efecto superior sobre la tendencia poblacional.

### 3.4. DISCUSIÓN

En las últimas décadas el águila perdicera ha sufrido un declive importante en la Península Ibérica, en especial en las poblaciones del Centro, Levante y Norte. En Cataluña, el seguimiento continuado de la población permitió detectar un descenso de alrededor de un 20% de sus efectivos desde los años 80 hasta inicios del siglo actual, aunque recientemente dicha regresión se ha detenido e incluso parece vislumbrarse una cierta recuperación en el número de parejas territoriales. En aras de conocer la evolución demográfica de dicha población, se caracterizaron los parámetros demográficos a lo largo del tiempo y se analizó su tendencia. Finalmente se aplicaron modelos de viabilidad que permitieran conocer si la población era autosostenible y que evolución se podría prever bajo diferentes escenarios y acciones de conservación.

Uno de los parámetros relevantes de estudio de la población fue la productividad. En este sentido, no escapa que una determinada población, para ser viable, necesita de la producción de nuevos ejemplares que serán los que sustituirán a los ejemplares que mueran, pero a su vez dicho parámetro es un índice de la calidad de los adultos reproductores y de sus territorios. Del seguimiento

de la población catalana se observa que la media de productividad durante las últimas décadas es de 1,02 pollos volados por pareja, valor moderado para una población si tenemos en cuenta que otras poblaciones en buen estado de conservación, como la población de Granada, alcanzan los 1,42 pollos por pareja y año (Hernández-Matías *et al.*, 2013). Además, a partir del año 2006 (Figura 3) la productividad ha disminuido significativamente y muestra valores inferiores a 1 pollo por pareja, que se pueden considerar bajos siendo en 2013 muy baja. Si se comparan estos valores de productividad con los de otras poblaciones de Europa occidental, se observa que en general son las poblaciones marginales o aquellas con problemas importantes de conservación las que no alcanzan valores de 1 pollo por pareja y año como en Arribes de Duero, Burgos, Álava, Rioja, Navarra y Aragón.

La disminución de la productividad observada en los últimos años puede deberse a un conjunto de causas, como son una menor disponibilidad de alimento, una elevada mortalidad adulta, molestias humanas o períodos continuados de lluvia y bajas temperaturas durante el período de incubación y de cría de los pollos. En primer lugar, en determinados territorios es posible que la disponibilidad de alimento haya disminuido, en especial sus presas favoritas como son conejos y perdices, y que ello esté relacionado con el incremento forestal a raíz del abandono agrícola, ganadero y de los usos tradicionales en la montaña mediterránea. Por otra parte, la muerte de ejemplares adultos en plena crianza produce su inmediato fracaso reproductor y, por otro, implica el reclutamiento de ejemplares no adultos que, o bien aún muestran inmadurez sexual, o su poca experiencia como territoriales no les permite reproducirse con éxito. Además, durante los últimos años cada vez es más frecuente el fracaso en la reproducción a causa de las molestias relacionadas con actividades de ocio (senderismo, escalada, bicicletas de montaña, etc.). Finalmente, en algunas ocasiones los episodios continuados de lluvia y bajas temperaturas durante el período de incubación y de cría de los pollos, como los ocurridos por ejemplo en 2013 afectan negativamente el buen desarrollo de la reproducción.



Fotografía 21. El abandono de la ganadería y otras actividades tradicionales en la montaña mediterránea ha comportado la desaparición de áreas de vegetación abierta, hábitats preferidos por las presas del águila perdicera y en consecuencia ha afectado negativamente la reproducción y supervivencia de las águilas. Autor: Francesc Parés.



Fotografía 22. El incremento de la superficie forestal en algunos territorios de águila perdicera ha comportado una disminución de la abundancia de sus presas básicas e incluso el abandono de estos territorios por parte de las águilas. Autor: Àlex Rollan.

Otro de los parámetros fundamentales indicadores del estado de conservación de una población, especialmente de grandes predadores como las águilas, es la supervivencia de los ejemplares territoriales, que en su mayoría son individuos adultos. Ello es especialmente importante en especies de larga vida, en que el mantenimiento poblacional pasa por que los ejemplares vivan muchos años aunque sus tasas de reproducción sean bajas. En este sentido la media de la supervivencia anual de las águilas perdiceras en Cataluña en las últimas décadas es baja, alrededor del 88% de media; es decir, que un 12% de águilas territoriales mueren cada año, valores que duplican los de poblaciones que se encuentran estables. En este sentido, es preocupante que durante el período reciente de 2007 a 2011 la supervivencia haya sido extremadamente baja, alcanzando algunos años el 82%, uno de los niveles más bajos conocidos de las poblaciones de Europa occidental (Hernández-Matías *et al.*, 2013). Estos niveles de supervivencia se encuentran muy por debajo del umbral de 92,5%, por encima del cual se considera que la población catalana sería autosostenible sin la llegada de individuos procedentes de otras poblaciones cercanas (Figura 4).

Otro parámetro clave que permite evaluar el estado de conservación de una población son las tasas de supervivencia preadulto, es decir, la supervivencia que tienen los ejemplares desde que vuelan del nido hasta que se reclutan en la población como ejemplares territoriales y reproductores. Dada la baja productividad anual en especies de vida larga, este parámetro tiene un marcado efecto sobre la tendencia poblacional, especialmente si los individuos tardan varios años en incorporarse en la fracción reproductora de la población, como ocurre en el águila perdicera. Para el caso de la población catalana a partir del año 2008 y hasta 2014 se procedió al anillamiento de 251 pollos con anillas de lectura a distancia para el estudio de su supervivencia, movimientos y reclutamiento. Hasta la fecha los datos de supervivencia obtenidos a través de reavistamientos son preliminares y no suficientes para poderlos utilizar en la modelización de la población. Por ello y dada la similitud ambiental y demográfica de la población francesa, así como que es la única población para la que se dispone de esta información, se analizaron los datos de marcaje y posterior reavistamiento de 423 pollos anillados.

Los resultados indican que la supervivencia de los ejemplares no territoriales se incrementa con la edad, tendencia que es conocida para otras especies similares puesto que los ejemplares a medida que van adquiriendo más experiencia tienen más probabilidad de sobrevivir y/o que existe una selección positiva de los ejemplares de más calidad.

En la actualidad, existe todavía muy poca información de otras poblaciones para interpretar adecuadamente los niveles estimados de supervivencia preadulto. No obstante, la información de individuos no territoriales monitorizados mediante radioseguimiento en poblaciones del sur de la Península Ibérica (Andalucía y Suroeste de Portugal) sugiere valores considerablemente más elevados en estas poblaciones que de hecho presentan un buen estado de conservación.



Fotografía 23. Pollo de águila perdicera anillado en Cataluña por el EBC-UB (izquierda). Autor: Francesc Parés,



Fotografía 24. El mismo ejemplar observado ya adulto y emparejado en Francia (derecha). Autor: Alain Marmasse.



Fotografía 25. Componentes del EBC-UB durante las tareas de toma de muestras y anillamiento de un pollo de águila perdicera. Autor: EBC-UB.

Los resultados aquí expuestos revelan que las águilas perdiceras en Cataluña acusan una elevada mortalidad, siendo uno de los factores que inciden negativamente en la conservación de la población por lo que identificar las causas de mortalidad es una tarea imprescindible para poder atajarlas e incrementar la supervivencia de los ejemplares. Más del 95% de las muertes registradas durante las últimas décadas son de origen antrópico, siendo las causas de muerte natural anecdóticas lo cual implica una responsabilidad relevante por parte de los gestores en su mitigación. En este sentido las dos causas principales son los accidentes con tendidos eléctricos, especialmente la electrocución, y la persecución por parte del hombre.

Del análisis temporal de la evolución de las causas de mortalidad, se observa un incremento importante a nivel porcentual de la electrocución y una aparente disminución de la persecución. Sin embargo, los números absolutos indican que la persecución no ha disminuido, por lo que parece que de alguna manera la percepción que tiene el hombre sobre dicha especie, quizás de competidora, no ha cambiado o bien que existen algunas áreas concretas donde aún se las persigue intensamente.

Por otra parte, los ejemplares encontrados accidentados por electrocución se han incrementado en comparación con los registros anteriores a 1990. Ello puede deberse a dos razones no excluyentes, por un lado a que recientemente se haya realizado un esfuerzo más importante en la búsqueda bajo los tendidos eléctricos y/o que las infraestructuras eléctricas hayan aumentado en los últimos

años. No cabe duda que la concienciación social y la legislación han resultado en mejoras ambientales continuas en los tendidos eléctricos y, a la par, en un mayor esfuerzo de búsqueda. En este sentido es conocido que a partir de los años 90, en Cataluña se desarrollaron planes de electrificación rural lo que conllevó el incremento de tendidos con diseños peligrosos para las aves (aspecto este entonces no atendido por la normativa vigente), especialmente en zonas de montaña y rurales. Como ejemplo, en 1985 la red eléctrica gestionada por ENHER, FECSA y HECSA en Cataluña sumaba 53.115 Km y tan sólo entre 1998 y 2003, la longitud total de líneas aéreas de distribución de electricidad pasó de 70.552 a 98.000 Km (ICAEN, 2003). Por otra parte es conocido que las zonas de montaña mediterránea, en las últimas décadas, han sufrido cambios de hábitat siendo cada vez menos favorables como territorios de caza para las águilas, comportando a menudo que éstas tengan que desplazarse a zonas de llanura donde encuentran más alimento, pero también al ser zonas más humanizadas, más tendidos eléctricos y peligros potenciales.

Los análisis de viabilidad de la población catalana de águila perdicera bajo el escenario considerado más realista dibujan un panorama aparentemente optimista (Figura 11), lo que está de acuerdo con el hecho que durante los últimos años el número de parejas de águila perdicera en Cataluña no haya disminuido e incluso existan algunos territorios recientemente colonizados (Figura 3). No obstante, cabe considerar que se trata de una situación de extrema fragilidad; los análisis ponen de manifiesto que a nivel del conjunto de poblaciones de la Península Ibérica y sur de Francia, la población

catalana se comporta como una población sumidero, es decir, que recibe una entrada neta de individuos procedentes de otras poblaciones vecinas. Ello implica que cualquier alteración en la dinámica de poblaciones fuente puede hipotecar la aparente recuperación observada y conllevar de nuevo a un desplome demográfico de la misma. En consonancia con estos resultados, bajo el escenario que asume que la población no intercambia individuos con otras poblaciones vecinas, las simulaciones proyectan un marcado declive en el número de efectivos, corroborando que se trata de una población que no es autosostenible. Esta situación está en buena parte motivada por la baja supervivencia de los ejemplares territoriales que, a su vez, tienen unas tasas reproductoras bajas. Como se ha visto a través de la sensibilidad de los parámetros demográficos, la supervivencia adulta es la que tiene un mayor efecto sobre la tasa de cambio poblacional y, por lo tanto, es donde sería más eficiente realizar esfuerzos de conservación a nivel demográfico. En este sentido, con las tasas reproductoras y de supervivencia preadulta actuales, un aumento de la supervivencia de los ejemplares territoriales hasta alcanzar el 92,5% supondría que la población catalana llegaría a ser autosostenible.

A partir del análisis de la evolución demográfica de la población catalana de águila perdicera, de sus parámetros demográficos, de los factores implicados y de su influencia en la viabilidad de la población se pueden extraer conclusiones e ideas de gran utilidad para implementar medidas de conservación eficaces. Por un lado dicha población acusa una continua disminución de su productividad, lo cual es indicador de un empeoramiento de las condiciones ambientales de sus territorios (menor disponibilidad de alimento, molestias, mortalidad, etc.). En este sentido se deberían implementar medidas encaminadas por un lado a mantener la calidad de sus áreas de cría así como a evitar las molestias por actividades de ocio e infraestructuras; mientras en las áreas de caza se debieran de priorizar aquellas acciones de mejora de sus hábitats encaminadas a incrementar la disponibilidad de alimento.

Simultáneamente, conociendo la elevada mortalidad, especialmente de la fracción de águilas territoriales, debería ser prioritario mitigar las principales causas de mortalidad detectadas como son la electrocución y la persecución. Abordar las tareas de mitigación de la electrocución es factible gracias al conocimiento obtenido durante los últimos años y al marco normativo existente (Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto; Resoluciones MAH/3627/2010, de 25 de octubre, y AAM/1061/2013, de 23 de abril, de la Generalitat de Catalunya). Actualmente se conocen los territorios que acusan más mortalidad e incluso aquéllos donde la electrocución tiene mayor incidencia. Además, para muchos territorios se dispone de información del uso del espacio o, en su defecto, de la

distribución de los hábitats de mayor importancia para las águilas. Por otra parte, se dispone de modelos predictivos que permiten conocer cuáles son los apoyos más peligrosos. Por lo tanto, desarrollar un protocolo para priorizar territorios, áreas y apoyos sería una tarea muy útil para corregir eficazmente el problema de la electrocución optimizando el tiempo y los recursos.

Abordar la persecución de las águilas es también un tema prioritario y que además puede aportar sinergias positivas ya sea para el colectivo social de los cazadores como por el uso sostenible de un recurso como son las presas compartidas por águilas y cazadores. Medidas de mejora de hábitat realizadas con la participación de los cazadores, una planificación cinegética adecuada y el trabajo con dicho colectivo, sumando esfuerzos, muy probablemente tendrían resultados muy positivos.

Las tareas de conservación transversales, como pueden ser aquellas que mejoren los hábitats de las águilas potenciando a sus presas favoritas en las zonas de montaña, pueden incidir en una mejora tanto de la productividad, dada la mayor abundancia de presas, como de la supervivencia, puesto que los individuos estarían en mejores condiciones físicas y además evitarían zonas muy humanizadas donde el riesgo de mortalidad es elevado.

El seguimiento a largo plazo de la población catalana con un protocolo estandarizado y un esfuerzo regular ha permitido caracterizar los parámetros demográficos de la población, conocer su evolución a la largo del tiempo y utilizarlos en modelos demográficos útiles para evaluar la viabilidad de la población y la influencia de dichos parámetros sobre la tendencia demográfica. En el mismo sentido, los programas a largo plazo de individualización de pollos, llevados a cabo tanto en Cataluña como en otros núcleos poblacionales, han resultado fundamentales para la obtención de información sobre parámetros poco conocidos en el águila perdicera como la supervivencia preadulta, las tasas de dispersión y de reclutamiento.

Por todo ello, la continuación del seguimiento y los programas de individualización a largo plazo es crucial para conocer el estado de conservación de la población, implementar medidas de conservación eficaces, evaluar objetivamente el efecto de dichas medidas y, en caso de ser necesario, redireccionar los esfuerzos de conservación. Finalmente, conociendo que existe una fuerte interdependencia entre las poblaciones Franco-Ibéricas de águila perdicera, el reto de los responsables de la conservación es que cada una de ellas sea autosostenible, pero a su vez es indispensable que las acciones de investigación y conservación se potencien conjuntamente, lo cual a buen seguro generará sinergias muy positivas para el futuro de la especie.





**LA MITIGACIÓN DE LA  
ELECTROCUCIÓN DEL  
ÁGUILA PERDICERA:  
PROTOCOLO PARA  
OPTIMIZAR LAS ACCIONES  
DE CONSERVACIÓN**

4



## 4.1. INTRODUCCIÓN

Los tendidos eléctricos son infraestructuras que conducen la corriente eléctrica y que se han instalado en el territorio de una forma pareja a la modernización de las sociedades y países. Estas infraestructuras aéreas transcurren por grandes extensiones de terreno y usualmente por zonas naturales, por lo que interaccionan con las especies animales que los habitan. Uno de los grupos de animales que interacciona más frecuentemente con los tendidos son las aves, ya que a menudo los utilizan para posarse, otear, descansar e incluso para construir sus nidos. Sin embargo, su utilización puede acarrear a las aves accidentes como puede ser la colisión con los cables al no ser detectados en vuelo o la electrocución al posarse en estas infraestructuras recibiendo entonces una descarga eléctrica que generalmente les produce la muerte o lesiones irreversibles.

La electrocución afecta principalmente a aves de tamaño mediano o grande, como es el caso de las rapaces, los córvidos y las cigüeñas (Mañosa, 2001; Moleón *et al.*, 2007; Tintó *et al.*, 2010) e implica sobre todo a los tendidos de distribución que son aquéllos de 15-66 kV encargados de distribuir la energía a los centros de consumo. La electrocución puede ocurrir de dos formas, cuando el ave hace contacto simultáneo con dos cables conductores o bien cuando hace masa entre el sitio de posada del apoyo y uno de los conductores (Figura 13), de manera que cae víctima de una descarga eléctrica. La peligrosidad de electrocución de un apoyo puede ser muy variable, desde su inocuidad hasta un gran riesgo, dependiendo de su diseño; es decir, según si en el apoyo existen lugares de posada preferentes en los que las aves tengan probabilidad de hacer contacto con elementos que provoquen la electrocución.



Fotografía 26. Águila perdicera joven del año sobre un apoyo eléctrico. Autor: Jacobo Ramos

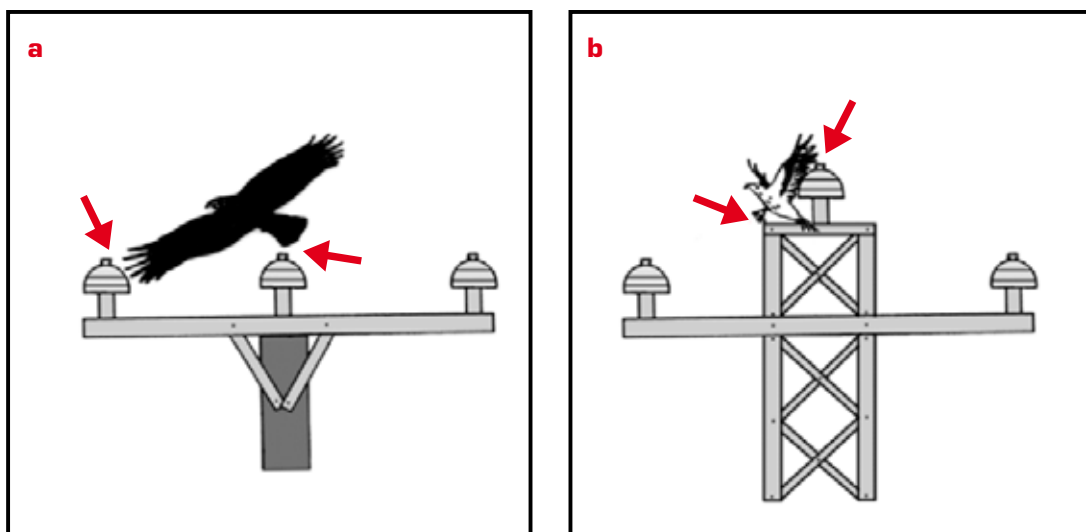


Figura 13. La electrocución de un ave puede ocurrir en dos situaciones diferentes: cuando el ave hace contacto simultáneamente con dos cables conductores (a), o cuando hace masa entre el apoyo y uno de los cables (b). Modificado a partir de Jans y Ferrer (1999).

En este sentido, los apoyos que entrañan un mayor riesgo de electrocución son aquellos que están contruidos con material conductor, como metal u hormigón armado, o bien tienen un cable de tierra, puesto que en este caso el contacto con un cable conductor es suficiente para hacer masa y electrocutarse cuando están posadas (Mañosa, 2001; Tintó *et al.*, 2010). Además, elementos

técnicos como cables conectores (presentes en apoyos de derivación), aisladores rígidos (fases por encima de la cruceta) y puentes flojos superiores (Tintó *et al.*, 2010) están relacionados con una mayor probabilidad de electrocución, siendo las configuraciones en bóveda, plana, en cruz o perpendicular especialmente peligrosas para las aves (Figura 14).

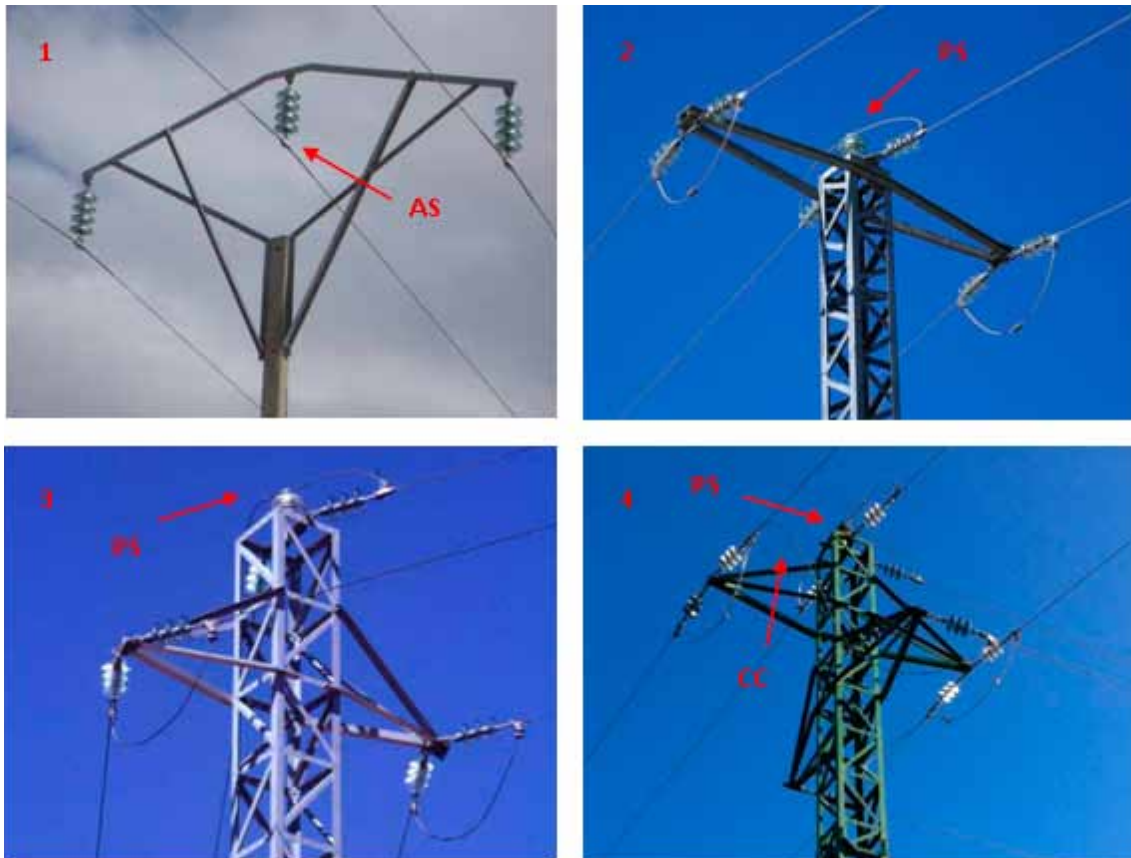


Figura 14. Apoyos eléctricos peligrosos para las aves con configuración en bóveda (1), plana (2), en cruz (3) y perpendicular (4). Se indican los elementos técnicos relacionados con una mayor probabilidad de electrocución: aislador suspendido (AS), aislador rígido y puente flojo superior (PS) y cables conectores (CC). Fotos: Albert Tintó.

Otro aspecto muy relevante relacionado con el impacto de la electrocución hace referencia a las características morfológicas y el comportamiento de las especies. De forma que aquellas de mayor tamaño y/o que por su comportamiento tengan más tendencia a posarse en apoyos eléctricos correrán un riesgo más elevado de electrocutarse. A su vez los apoyos con diseños peligrosos que estén situados en hábitats querenciosos o de mayor abundancia de especies de aves serán especialmente peligrosos, aspecto muy relevante a la hora de implementar eficientemente medidas de mitigación del impacto por electrocución.

La electrocución de aves en líneas eléctricas es conocido que tiene un impacto elevado en muchos países del mundo. Así, en Estados Unidos por ejemplo se estima que cada año mueren electrocutadas entre 0,9 y 11,6 millones de aves (Loss *et al.*, 2014). En España se considera que podrían morir varios centenares de miles de aves por electrocución, mientras que en Cataluña se estimó que anual-

mente mueren unas 3.000 aves por esta causa (Mañosa, 1995). La electrocución es una de las primeras causas de mortalidad no natural de muchas especies amenazadas de aves (Bevanger, 1994; Bayle, 1999; Janss y Ferrer, 1999; APLIC, 2006) como por ejemplo el pigargo americano (*Haliaeetus leucocephalus*) en Estados Unidos (APLIC, 2006), el buitre de El Cabo (*Gyps coprotheres*) en Sudáfrica (Boshoff *et al.*, 2011), el alimoche (*Neophron percnopterus*) (Angelov *et al.*, 2013; Magin, 2011), el águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*) (González y Oria, 2004; Guil *et al.*, 2011) y el águila perdicera en España (Real *et al.* 2001). Además de tener un impacto negativo para las poblaciones de aves, la electrocución también puede comportar impactos socioeconómicos consecuencia de los numerosos cortes de suministro y, en determinados casos, se ha comprobado que la misma ave puede originar un incendio forestal al caer en llamas sobre la vegetación (Janss y Ferrer, 1999; Tintó *et al.*, 2005).

Uno de los problemas más relevantes de conservación de la población águila perdicera en Cataluña es la elevada mortalidad de los individuos lo que provoca un desequilibrio demográfico de la población y que ésta no sea autosostenible en el tiempo (capítulo 3). Tal y como se ha indicado, la causa principal de mortalidad y que incide negativamente en la supervivencia de los ejemplares es la electrocución con tendidos de distribución. En consecuencia mitigar dicho impacto es clave para mantener sostenible dicha población y que sea viable en el futuro.

En Cataluña la distribución del águila perdicera ocupa unos 11.500 km<sup>2</sup>, un 36% de la superficie de la comunidad autónoma, donde existen cerca de 100.000 apoyos eléctricos de distribución. Abordar en un área tan extensa la identificación de los apoyos peligrosos y su corrección supone un elevado coste en tiempo y recursos difícil de alcanzar en un plazo de tiempo razonable. Así pues, es fundamental optimizar los recursos priorizando la corrección de aquéllos apoyos más peligrosos y que inciden más negativamente en las tasas de supervivencia y estado de la población de águilas.

El objetivo del presente capítulo es la exposición de la experiencia habida en la implementación de medidas para mitigar la electrocución de águilas perdiceras en Cataluña con el fin de disminuir su mortalidad. Para ello se desarrolló un protocolo de actuación cuya idea subyacente era que, seleccionando los parámetros demográficos que tienen mayor incidencia en la dinámica poblacional de la especie, las diferencias demográficas entre territorios de la población, las áreas más utilizadas por las águilas y los factores asociados al riesgo de electrocución de un apoyo, se pudieran optimizar los recursos y el tiempo para ser eficientes en la mitigación de la electrocución y obtener beneficio máximo para la especie. El protocolo de actuación diseñado a tal efecto consistió en: a) seleccionar y priorizar aquellos territorios ocupados por águilas territoriales con menor supervivencia; b) determinar las áreas de mayor uso por parte de las águilas dentro de los territorios prioritarios; c) seleccionar los apoyos más peligrosos dentro de las áreas de mayor uso; d) corregir los apoyos; e) evaluar las correcciones y el efecto de la mitigación de la electrocución sobre los parámetros demográficos del águila perdicera.

## 4.2. MÉTODOS

### 4.2.1. Procedimiento general y área de estudio

El procedimiento general se basó en la colaboración entre tres estamentos técnicos y científicos, la Diputación de Barcelona, la Universitat de Barcelona y ENDESA, así como otras compañías eléctricas que actuaron de forma planificada y coordinada. La tarea de la Diputación de Barcelona, como gestora de espacios protegidos y de ordenación territorial, consistió en encargar los estudios científicos y técnicos que permitieran tener una aproxi-

mación eficiente a la mitigación de la electrocución, así como coordinar el desarrollo de las tareas entre los tres organismos. Los investigadores de la Universitat de Barcelona realizaron los estudios científicos, así como los informes técnicos sobre la predicción de la peligrosidad de los apoyos y la evaluación de las correcciones realizadas. ENDESA, así como otras compañías eléctricas locales, implementaron las medidas de mitigación de la electrocución en el campo en base a los informes científicos y técnicos desarrollados por el equipo de investigación. En este sentido se desarrolló un protocolo de trabajo recíproco entre técnicos de las compañías eléctricas e investigadores que permitió desarrollar soluciones técnicas novedosas e implementarlas efectivamente en el campo. En el caso de la Diputación de Barcelona y de ENDESA apoyaron mediante convenios el seguimiento de la población de águilas así como la generación de conocimiento inédito espacial y demográfico realizado por el equipo de investigación de la Universitat de Barcelona. Finalmente y de forma anual los tres organismos establecieron jornadas de trabajo para evaluar las tareas y los resultados obtenidos de mitigación de la electrocución y establecer las estrategias de futuro.

Las fases del protocolo implementado para mitigar la electrocución atañen escalas espaciales diferentes que se definen en los siguientes apartados.

### 4.2.2. Selección y priorización de los territorios de las águilas con menor supervivencia

El área de estudio donde se determinó la supervivencia de las águilas perdiceras abarcó aproximadamente el 85% de la superficie de la distribución de la especie en Cataluña, yendo desde el Empordà hasta el río Ebro e incluyó 66 territorios (52 ocupados y 14 actualmente desocupados) de las provincias de Girona, Barcelona y Tarragona. Para identificar los territorios en que los niveles de supervivencia eran insostenibles a nivel demográfico para la población (aquellos con una supervivencia adulta por debajo del umbral de 92,5%) y que además potencialmente acusaban un mayor impacto por electrocución se determinó la tasa de supervivencia para cada territorio durante el período 1990-2010. Esta estima a nivel territorial se basa en el conjunto de observaciones de supervivencia anual (Capítulo 3) de cada individuo y año en el territorio. Los resultados fueron representados en un mapa con tal de analizar gráficamente la distribución de frecuencias para los diferentes valores de supervivencia territorial, tanto de los territorios ocupados (n=52) como de los territorios actualmente abandonados (n=14).

Adicionalmente también se utilizó el registro de individuos encontrados electrocutados en cada territorio de águila perdicera, ya sea de adultos territoriales o de jóvenes durante el período de dependencia

previo a la dispersión juvenil, cuando todavía se encuentran en el territorio natal. Los resultados fueron representados en un mapa para evaluar si existía algún tipo de agrupación geográfica de territorios que acumulaban muchas electrocuciones. Finalmente el uso de éstos dos tipos de variables permitió seleccionar un área piloto de 1.056 Km<sup>2</sup> en la Cordillera Prelitoral de Barcelona donde se ubicaban 3 territorios ocupados por águilas perdiceras y 2 recientemente abandonados que se caracterizaban por bajas tasas de supervivencia y elevadas tasas de electrocución.

#### 4.2.3. Determinación de las áreas de mayor uso por parte de las águilas dentro de los territorios prioritarios

Seleccionada el área piloto de 1.056 Km<sup>2</sup>, dado que los territorios explotados por las águilas pueden ser muy extensos (hasta 250 Km<sup>2</sup>) y que dentro de ellos utilizan en un grado de intensidad muy variable, se delimitaron aquellas áreas más intensamente usadas. Ello permitiría acotar donde localizar los tendidos eléctricos en los que las águilas podían interactuar con más probabilidad y por lo tanto sufrir un accidente. Para determinar las áreas de mayor uso de las águilas se realizó radioseguimiento de 7 ejemplares (4 machos y 3 hembras) que ocuparon los tres territorios, mediante emisores terrestres, durante un ciclo anual (Bosch et al., 2010; Rollan et al., 2010). Para cada territorio se definió el área más usada por las águilas como el área Kernel 99% (Worton, 1989), aquella área en que se encontrará el individuo con una probabilidad del 99%, a partir del conjunto de localizaciones de los individuos radioseguidos de ese territorio.



Fotografía 27. Miembros del EBC-UB y del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino (MMARM) equipando a un águila perdicera con un emisor terrestre. Autor: EBC-UB.



Fotografía 28. Ejemplar ya equipado con el emisor (derecha) para el estudio de las áreas de campeo de las águilas. Autor: Víctor García Matarranz (MMARM).



Fotografía 29. Miembro del EBC-AB realizando tareas de radioseguimiento mediante una antena receptora que capta la señal del emisor terrestre con el que se equipó el ejemplar de águila perdicera. Autor: EBC-UB.

#### 4.2.4. Selección de apoyos de mayor riesgo de electrocución

En el área piloto se desarrolló un modelo predictivo del riesgo de electrocución de los apoyos para las aves que tuvo en cuenta el diseño del apoyo, la topografía, el hábitat donde se encontraba, así como otros aspectos biológicos (Tintó et al., 2010). Este modelo permitió clasificar los apoyos en cuatro categorías según el riesgo de electrocución: riesgo muy elevado, riesgo elevado, riesgo bajo y riesgo muy bajo o nulo. Según el modelo predictivo, la corrección de los apoyos con un riesgo de electrocución elevado y muy elevado, permitiría eliminar el 80% de las electrocuciones de aves (Tintó et al., 2010), considerándose la corrección de éstos como una actuación relevante para mitigar sensiblemente la electrocución con un esfuerzo razonable, dichos apoyos se consideraron de corrección prioritaria.



Fotografía 30. Miembro del EBC-AB realizando tareas de caracterización del diseño del apoyo, la topografía y el hábitat donde se encontraba para la determinación del riesgo de electrocución mediante la aplicación del modelo predictivo. Autor: EBC-UB.

Finalmente se caracterizó el riesgo de electrocución de todos los apoyos de las áreas usadas por las águilas y se clasificaron en las cuatro categorías establecidas por el modelo predictivo esta-

bleciendo como de corrección prioritaria aquellos que tenían un *riesgo muy elevado* o *elevado* de electrocución.

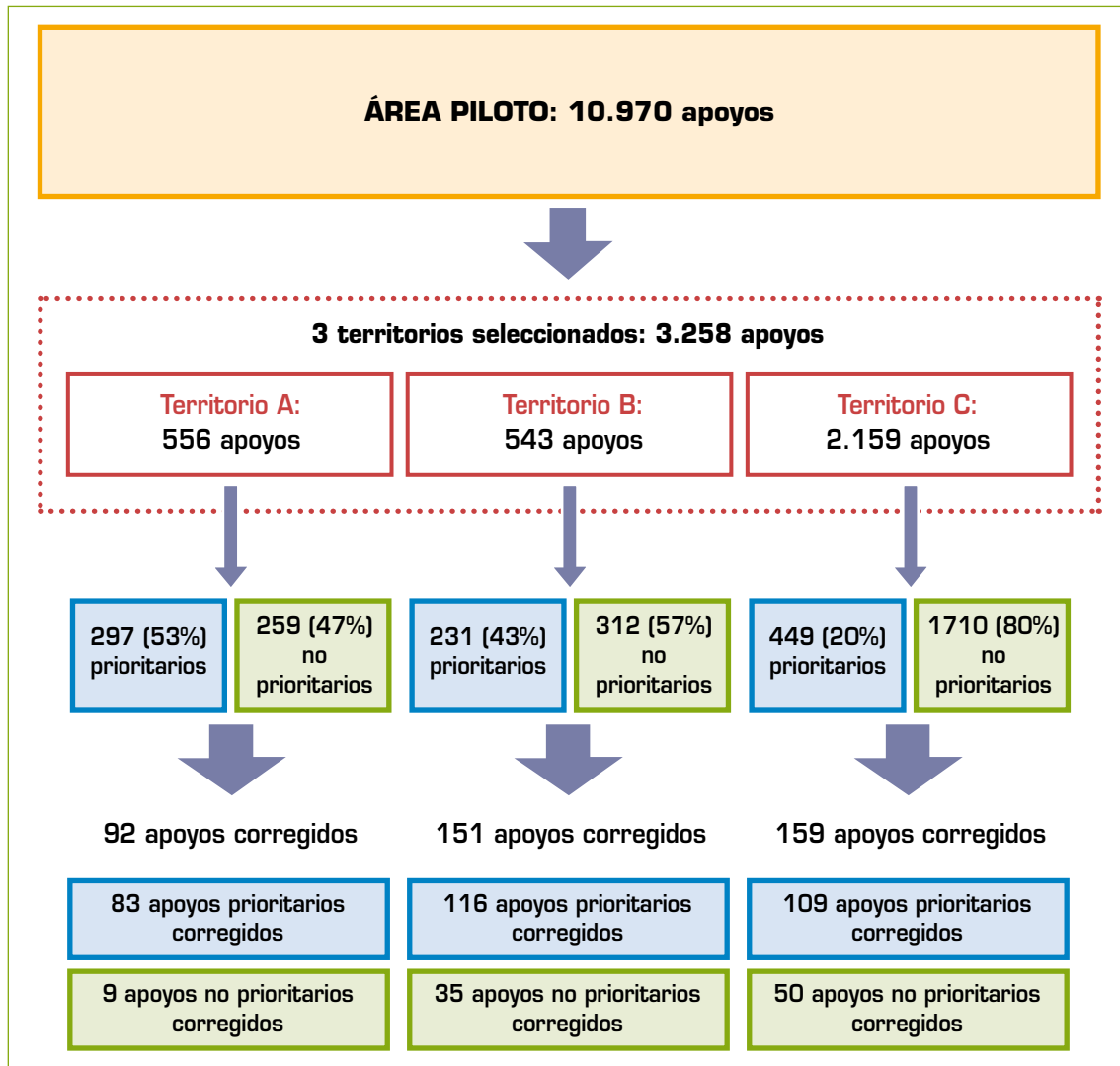


Figura 15. Número y distribución de los apoyos eléctricos en el área piloto y en los tres territorios de águila perdicera donde se realizaron las correcciones, indicando la prioridad de corrección de los apoyos que se encontraban en los territorios y si éstos fueron o no corregidos.

#### 4.2.5. Implementación de las correcciones

Durante el período 2001-2007 se procedió de forma paulatina a la corrección de los apoyos considerados prioritarios dentro de las áreas de mayor uso en los 3 territorios ocupados por las águilas (Figura 15). Los investigadores de la UB y técnicos de ENDESA trabajaron conjuntamente para establecer las tipologías técnicas de corrección más adecuadas atendiendo a criterios de máxima permanencia y mínimo riesgo de electrocución para las aves. Durante las actuaciones, se priorizó la corrección de aquellos apoyos seleccionados de *riesgo muy elevado* o *riesgo elevado de electrocución*. Al margen del protocolo y por razones técnicas, también se corrigieron algunos apoyos considerados no prioritarios ya que se encontraban situados en los mismos tendidos.

#### 4.2.6. Evaluación de las correcciones

La evaluación de las correcciones se realizó a dos niveles, a partir de la tasa de electrocución observada en los apoyos y a partir de sus efectos sobre las tasas demográficas de las parejas de águila perdicera. Para evaluar el efecto de las correcciones en las tasas de electrocución de los apoyos (número de aves electrocutadas por apoyo) por un lado se comparó una muestra de 222 apoyos antes y después de su corrección, en los años 2004 y 2008, respectivamente. Y por otro lado se comparó una muestra control de apoyos no corregidos (350) en el área piloto en ambos períodos para poder verificar que la tasa de electrocución no había variado a lo largo del tiempo.

La evaluación de los efectos de las correcciones sobre la población de águilas perdiceras se realizó mediante un seguimiento de sus parámetros demográficos en los tres territorios ocupados donde se implementaron medidas correctoras. Para ello se compararon los valores de supervivencia y productividad de los individuos territoriales antes (1990-2000) y después de iniciarse las correcciones (2001-2012).

### 4.3. RESULTADOS

#### 4.3.1. Selección y priorización de los territorios de águilas con menor supervivencia

Se analizó la supervivencia de los individuos territoriales adultos de 52 territorios ocupados durante el período 1990-2010 (Figura 16). De éstos, 34 territorios (un 65,4%) mostraron valores de supervivencia por debajo del umbral estimado de 0,925 para que la población catalana de águila perdicera sea autosostenible (Capítulo 2).

Al mismo tiempo, los territorios fueron representados en cuatro categorías dependiendo de los valores de supervivencia que muestran (Figura 17): (i) extremadamente bajos (por debajo de 0,50), se trata de valores en general insostenibles para la ocupación de un territorio y de hecho la mayoría de territorios con estos valores están actualmente abandonados; (ii) muy bajos (0,50-0,889), corresponde a valores por debajo de la media de supervivencia territorial en Cataluña estimada en 0,889; (iii) bajos (0,889-0,925), se trata de valores por encima de la media de Cataluña pero insuficiente para que la población catalana sea autosostenible;

(iv) suficientes (>0,925), territorios sin problemas aparentes de baja supervivencia territorial. En la Figura 17 se puede observar como la distribución geográfica de la supervivencia a nivel territorial muestra una cierta tendencia a ser de tipo contagioso, aunque también se pone de relieve una elevada heterogeneidad interterritorial incluso entre territorios cercanos.

Por otra parte, la distribución geográfica de las muertes por electrocución (Figura 18) muestra un menor número de casos en la mitad sur de la provincia de Tarragona en relación a la densidad de territorios. También se observa cierta agrupación de casos de electrocución en determinados territorios de la Cordillera Prelitoral de Barcelona y las comarcas del Alt Camp y Tarragonès.

Una vez analizadas las tasas de supervivencia y de electrocución se escogió un área piloto de 1.056 km<sup>2</sup> en la Cordillera Prelitoral de Barcelona y que incluía un total de 5 territorios de águila perdicera: 3 ocupados por parejas territoriales y 2 abandonados en los últimos años. Los 5 territorios mostraron respectivamente unos valores de supervivencia adulta de 0,905, 0,892 y 0,879 para los 3 territorios ocupados, y de 0,778 y 0,714 para los 2 territorios abandonados, todos por debajo del umbral de 92,5% y en los que se encontraron 7 ejemplares electrocutados (Figura 18). El área seleccionada incluye tres parques naturales y una extensa área de la Red Natura 2000, donde se encuentran otras especies protegidas que también sufrían un fuerte impacto por electrocución, como son el águila culebrera *Circaetus gallicus*, el ratonero común *Buteo buteo*, el azor *Accipiter gentilis*, el gavilán *Accipiter nisus*, el halcón peregrino *Falco peregrinus*, el cernicalo común *Falco tinnunculus*, el búho real *Bubo bubo* y el cárabo común *Strix aluco*, entre otras.

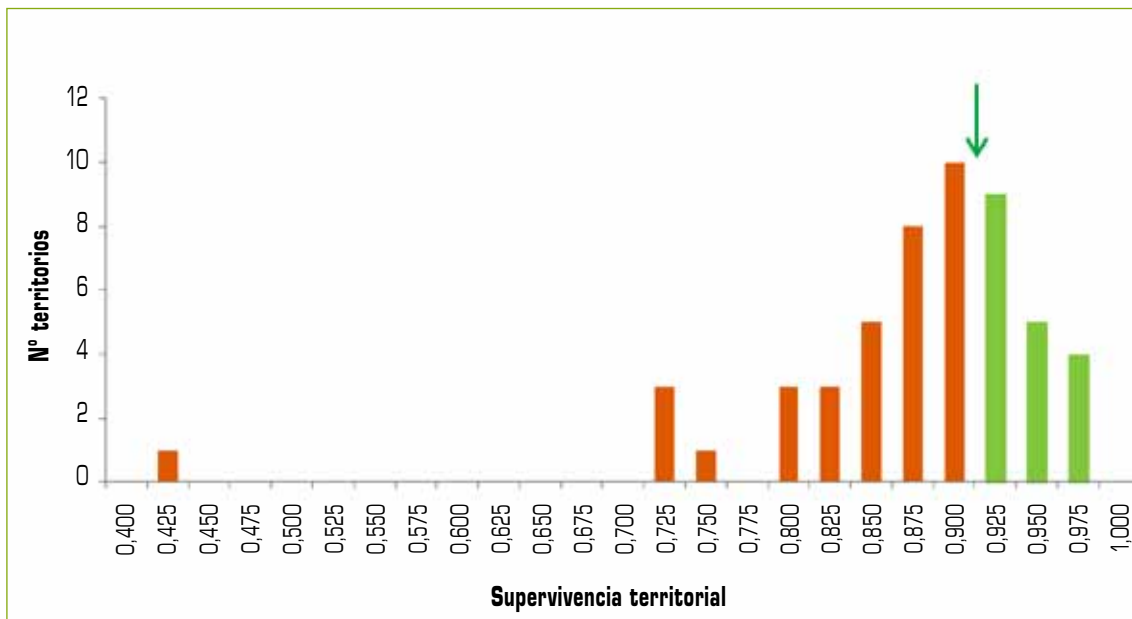


Figura 16. Distribución de la media de los valores de supervivencia a nivel de cada territorio durante el período 1990-2010. La flecha indica el umbral de 0,925 para que la población catalana de águila perdicera sea autosostenible (Capítulo 2).



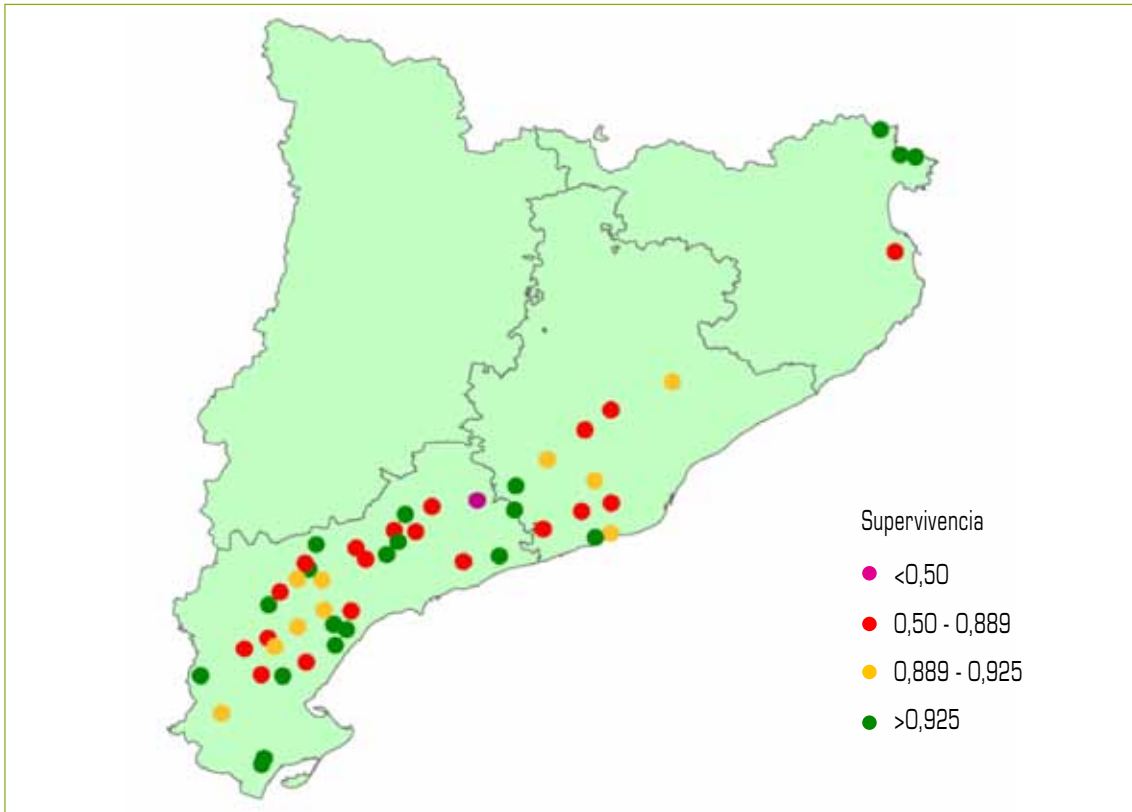


Figura 17. Distribución geográfica de los territorios de águila perdicera en función de sus niveles de supervivencia territorial. (i) menores de 0,50: extremadamente bajos; (ii) de 0,50 a 0,889: muy bajos; (iii) de 0,889 a 0,925: bajos; y (iv) mayores de 0,925: adecuados.

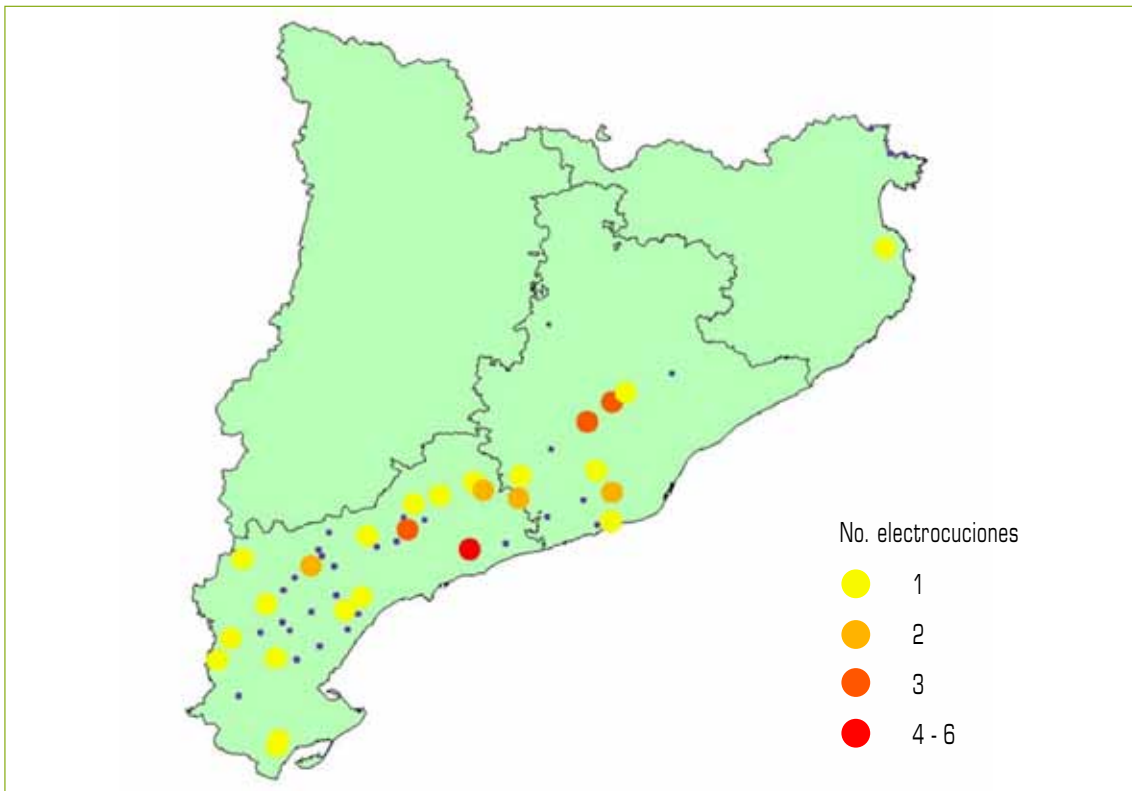


Figura 18. Distribución geográfica de las muertes por electrocución en los territorios analizados de águila perdicera. Aquellos territorios con casos conocidos de muertes por electrocución se representan con un círculo de color (ver leyenda para el número de electrocuciones por territorio), mientras aquellos que no se localizaron ejemplares electrocutados se representan con un círculo pequeño.



Fotografías 31, 32 y 33. Vista parcial de los 3 territorios ocupados por parejas territoriales de águila perdicera, denominados A, B y C respectivamente. Autor: EBC-UB.

#### 4.3.2. Determinación de las áreas de mayor uso dentro de los territorios prioritarios y selección de apoyos de mayor riesgo de electrocución

El seguimiento de los ejemplares presentes en los 3 territorios ocupados permitió conocer la extensión de éstos definida a partir del área Kernel 99%, ocupando una extensión total de unos 425 km<sup>2</sup>, lo que significa aproximadamente el 40% del área seleccio-

nada como prueba piloto. Estos 3 territorios, denominados A, B y C, tuvieron una extensión de 14.498 ha, 7.628 ha y 21.858 ha respectivamente, con un solapamiento parcial entre los territorios A y B (Figura 19). Dentro del área piloto se detectaron 10.970 apoyos, el 86,5% de los cuales eran propiedad de ENDESA y el 13,5% restante propiedad de otras compañías eléctricas locales.

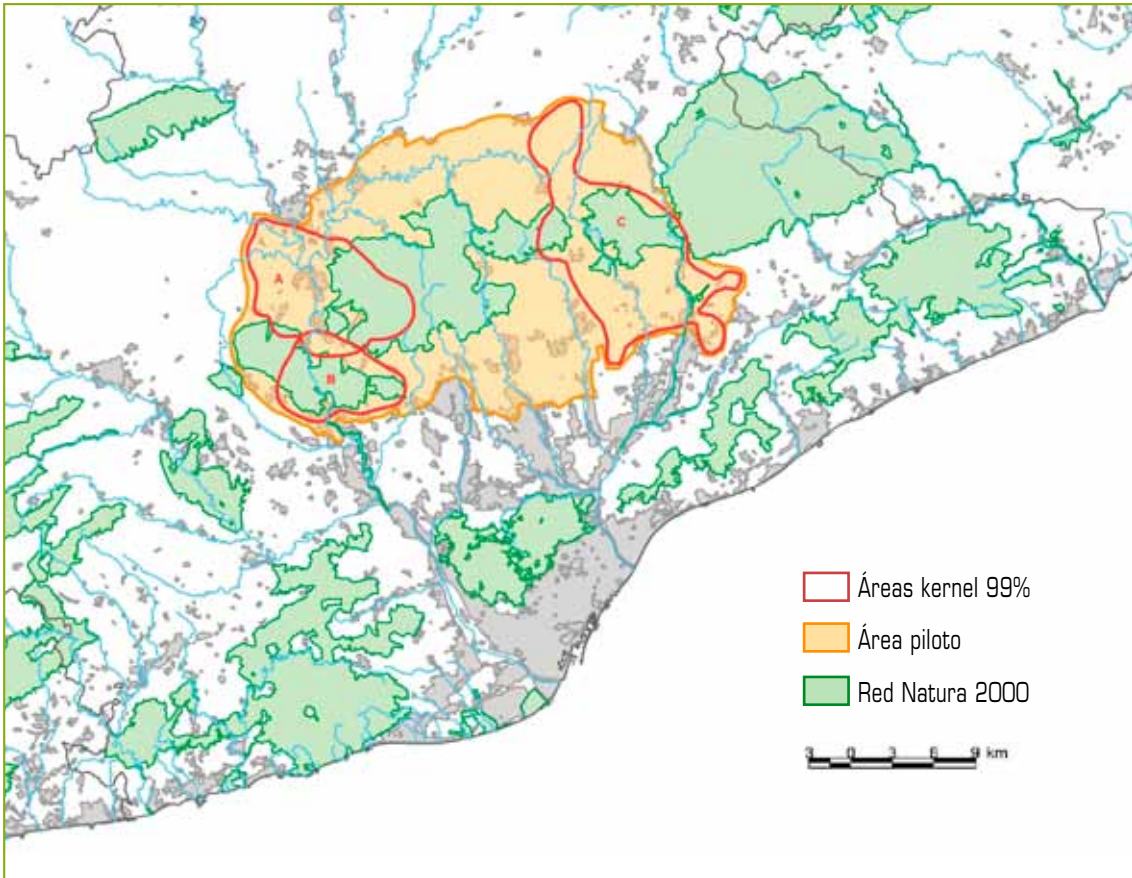


Figura 19. Límites del área seleccionada como prueba piloto (1.056 km<sup>2</sup>), de los espacios naturales incluidos en la Red Natura 2000 y extensión ocupados (área Kernel 99%) de los 3 territorios.

Mientras, en los 3 territorios ocupados por águilas se detectó la presencia de un total de 3.258 apoyos, que representan el 29,7% del total de apoyos presentes dentro del área piloto. Los apoyos se clasificaron según el modelo predictivo (Tintó *et al.*, 2010) resul-

tando 977 apoyos de corrección prioritaria que representan un 30% de los apoyos en las áreas de mayor uso de las águilas (Tabla 1).

Una vez clasificados cada uno de los apoyos según su riesgo de electrocución, se incluyeron en una cartografía en formato SIG en donde se detalló la ubicación exacta del apoyo y su riesgo de elec-

trocución (Figura 20), información que sirvió de base para la futura implementación de las correcciones.

**Tabla 1.** Clasificación de los apoyos presentes dentro del área kernel 99% de los 3 territorios de águila perdicera según su riesgo de electrocución y selección de los apoyos considerados prioritarios de corrección.

Territorio	Número de apoyos	Riesgo de electrocución				Total apoyos prioritarios
		Nulo o muy bajo	Bajo	Elevado	Muy elevado	
A	556	120 (22%)	139 (25%)	150 (27%)	147 (26%)	297 (53%)
B	543	183 (34%)	129 (24%)	102 (19%)	129 (24%)	231 (43%)
C	2.159	1.297 (60%)	413 (19%)	331 (15%)	118 (5%)	449 (20%)
TOTAL	3.258	1.600 (49%)	681 (21%)	583 (18%)	394 (12%)	977 (30%)

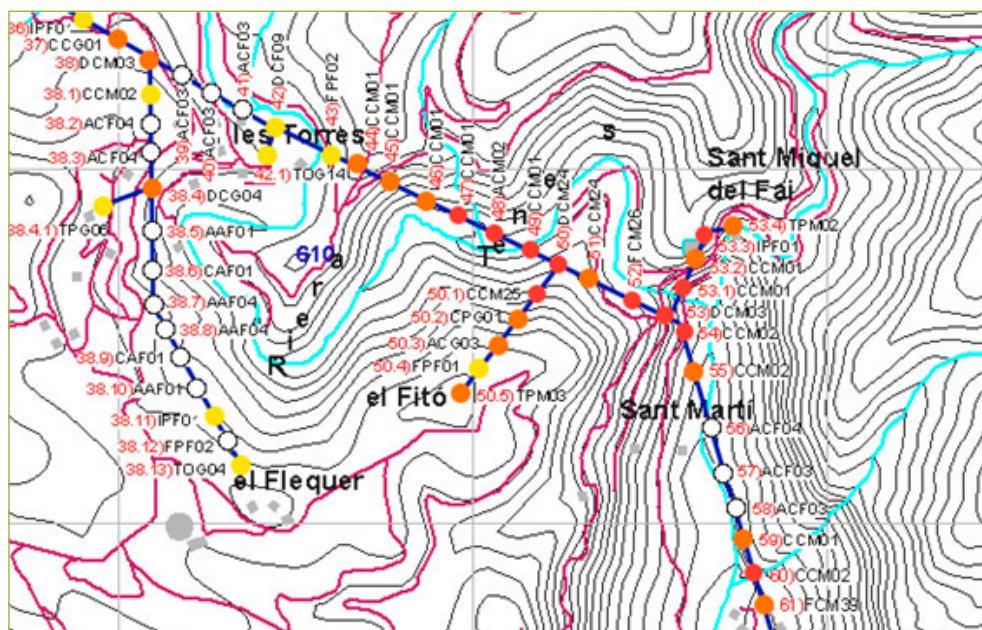


Figura 20. Ejemplo de la cartografía obtenida gracias a la aplicación del modelo predictivo en uno de los tendidos eléctricos de uno de los 3 territorios de águila perdicera considerados prioritarios. El color de los puntos indica el riesgo de electrocución de los apoyos: rojo (muy elevado), naranja (elevado), amarillo (bajo) y blanco (nulo o muy bajo). La numeración en rojo indica el código identificativo del apoyo, mientras que la numeración en negro indica el código del modelo de apoyo.

#### 4.3.3. Implementación de las correcciones

Durante el período 2001-2007 se corrigieron 402 apoyos de los cuales 308 fueron seleccionados como prioritarios por el modelo predictivo dentro de los 3 territorios ocupados de águila perdicera (Kernel 99%). El resto de apoyos con riesgo menor de electrocución (94) fueron corregidos por ser contiguos a los prioritarios y estar situados en tendidos considerados muy peligrosos donde había habido electrocuciones, tal y como se ha indicado. El número de apoyos corregidos por territorio fue de 92 en el territorio A, 151 en el B y 159 en el C, y que supusieron un 16,5%, 27,8% y 7,4% de los apoyos presentes respectivamente en cada territorio. Los apoyos prioritarios corregidos fueron 83, 116 y

109 respectivamente correspondiendo al 28%, 50% y 24% del total de apoyos prioritarios de cada uno de los tres territorios.

El criterio general de las correcciones realizadas fue que éstas fueran permanentes, como cambios de diseño de los apoyos, cambios de cabeceras, o cambios de elementos concretos como la eliminación de aislantes rígidos por suspendidos o de elementos conductores. Sólo se utilizaron medidas temporales, caso de materiales aislantes, como medidas de apoyo complementario o en casos específicos en que el apoyo técnicamente no era posible sustituirlo. En la figura 21 se muestran algunos ejemplos de las medidas correctoras implementadas por las compañías eléctricas.



Fotografía 34. Tareas de corrección de un apoyo en bóveda, consistente en el aislamiento del puente flojo central con materiales de alta durabilidad. Fotos: Albert Tintó.



Fotografías 35 y 36. Apoyo de derivación con riesgo muy elevado de electrocución para las aves antes (izquierda) y después de su corrección (derecha). Fotos: Albert Tintó.

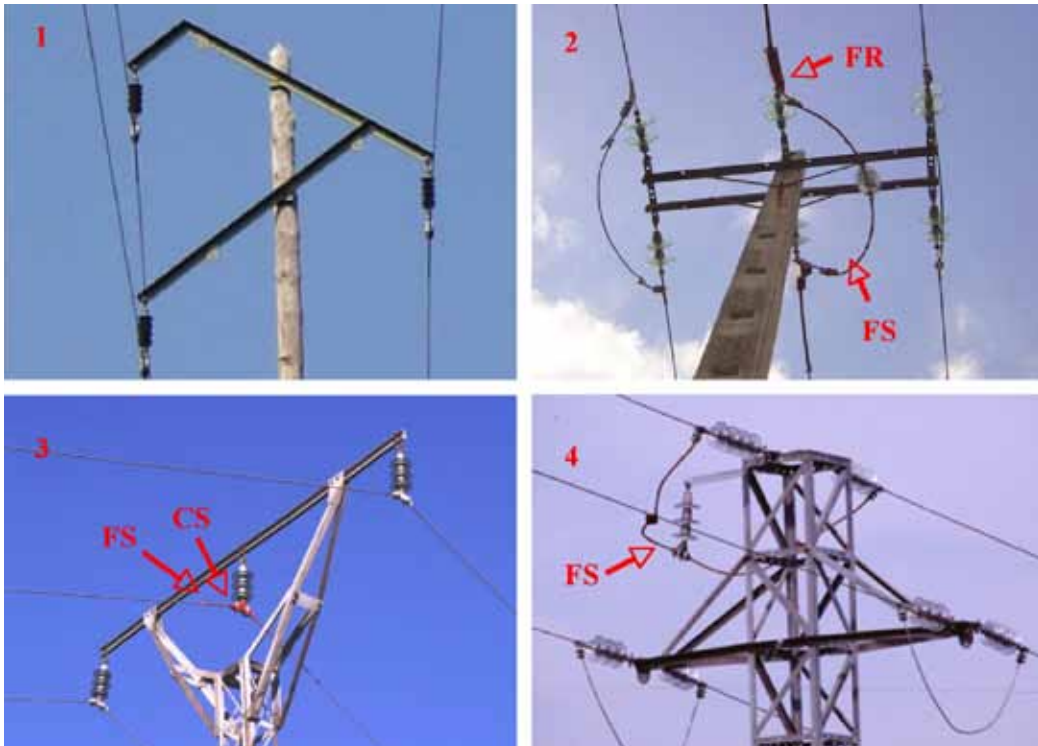


Figura 21. Algunos ejemplos de las medidas correctoras implementadas en los territorios seleccionados de águila perdicera durante el periodo 2001-2007: (1) Apoyo "canadiense"; (2) apoyo con configuración plana en que los aisladores rígidos y los puentes superiores fueron sustituidos por aisladores y puentes suspendidos; (3) apoyo en bóveda horizontal en que el cable conductor central fue cubierto con una funda de silicona (FS) y la grapa del aislador suspendido central con cinta aislante del mismo material (CS); (4) apoyo en cruz en que aislador rígido y el puente superior central fueron sustituidos por un brazo lateral con un aislador y un puente suspendidos. Como medida complementaria, se pudo utilizar una funda de silicona (FS) para cubrir el cable del puente central (2 y 4) y una funda aislante modelo Rachen BCIC (FR) para cubrir las grapas de los dos aisladores horizontales (2). Autor: Albert Tintó.



Fotografía 37. Tareas de corrección in situ de un tendido eléctrico y divulgación a técnicos y medios de comunicación. Autor: Albert Tintó.



Fotografía 38. Firma de convenio de colaboración para la mitigación de la electrocución entre Endesa, Diputación de Barcelona y Universitat de Barcelona en 2001. Autor: Albert Tintó.



Fotografía 39. Tareas de corrección de un apoyo con seccionador, consistente en la sustitución de un transformador antiguo peligroso (abajo izquierda en segundo plano) por un nuevo modelo de diseño seguro (delante primer plano). Autor: EBC-UB.

#### 4.3.4. Evaluación de las correcciones

La evaluación de las correcciones a partir de la tasa de electrocución observada sobre los apoyos mostró que, en la muestra de 222 apoyos objeto de corrección se encontraron 29 aves electrocutadas (0,131 aves por apoyo) antes de las intervenciones de mitigación (2004), mientras que después de las correcciones (2008) no se encontró ningún ave electrocutada. Por otro lado en el mismo período en una muestra control de 350 apoyos no corregidos, la tasa de electrocución se mantuvo con unos valores similares entre los dos periodos, que fueron de 25 (0,071 aves por apoyo) y 29 aves electrocutadas (0,083 aves por apoyo) respectivamente (Figura 22).

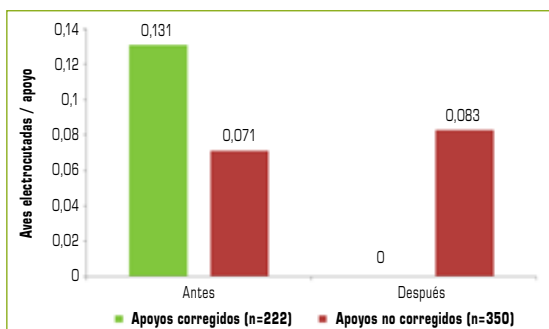


Figura 22. Evolución de la tasa de electrocución (aves electrocutadas por apoyo) en los apoyos corregidos y no corregidos, antes y después de implementar las correcciones.

Por lo que respecta a los parámetros demográficos obtenidos mediante el seguimiento de la población, no se observaron diferencias significativas en la productividad de la muestra de 3 parejas analizadas antes (1990-2000) y después (2001-2012) de las correcciones, con unos valores promedio de 1,26 y 1,19 respectivamente. Sin embargo, la supervivencia adulta sí sufrió una variación importante (Figura 23). Mientras este parámetro sufrió un descenso marcado a partir de 1990, alcanzando los niveles más bajos durante el período 1998-2000 con un valor de 0,774, a partir del año 2001 y coincidiendo con el inicio de las correcciones de apoyos eléctricos la supervivencia se incrementó considerablemente llegando a 1,000 durante el período 2009-2012.

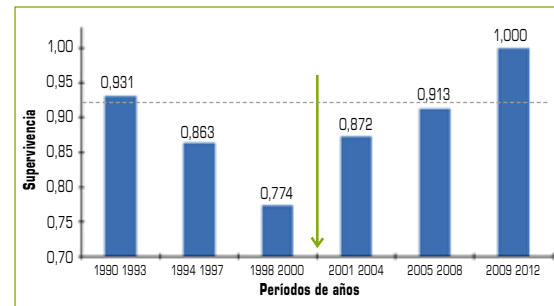


Figura 23. Variación en el tiempo de la supervivencia anual en los tres territorios de águila perdicera estudiados. La flecha verde indica el año de inicio de las correcciones de apoyos eléctricos en el área piloto donde se hallan los territorios. La línea discontinua gris indica el nivel de supervivencia necesario para alcanzar la autosostenibilidad de la población.

#### 4.4. DISCUSIÓN

Los accidentes con tendidos eléctricos son una de las principales causas de mortalidad no natural en aves de mediano y gran tamaño en países desarrollados, afectando a especies amenazadas y constituyendo un factor de impacto importante en sus poblaciones. En el águila perdicera, especie emblemática de los ecosistemas mediterráneos, la electrocución es la principal causa de mortalidad en España (Real et al. 2001) donde la especie ha disminuido drásticamente en muchas regiones. En Cataluña, el águila perdicera sufrió un declive de más del 20% desde 1990 y aproximadamente hasta 2000, siendo una de las principales causas las bajas tasas de supervivencia causadas especialmente por un incremento de la mortalidad por electrocución. Probablemente el origen de dicha accidentalidad fue debido a la implementación de los planes de electrificación rural y la modernización de tendidos que supuso la sustitución de muchos apoyos que antaño eran inocuos (por ejemplo, de madera y en tresbolillo) por otros de diseños peligrosos (por ejemplo, de metal con aislantes rígidos). No cabe desdeñar que la disminución de sus presas en las áreas de montaña también fuera un factor añadido que impulsara a las águilas a desplazarse hacia zonas de llanura con más alimento pero a su vez más humanizadas y con más tendidos.

Los análisis de viabilidad indican que la población catalana de águila perdicera no es autosostenible y una de las principales razones es la baja supervivencia de sus ejemplares territoriales. Por ello una de las maneras más eficaces para que la población sea autosostenible a nivel demográfico es incrementar sensiblemente la supervivencia de los ejemplares y, en consecuencia, la mitigación de la electrocución es una prioridad para conservar la población catalana de águilas perdiceras.

Para mitigar el impacto de la electrocución se desarrolló y aplicó un protocolo de actuación (sintetizado en la Figura 24) que consistió en:

- a) seleccionar aquellos territorios ocupados por águilas territoriales con menor supervivencia y elevadas tasas de electrocución.
- b) establecer las áreas de mayor uso por parte de las águilas dentro de los territorios seleccionados.
- c) seleccionar los apoyos más peligrosos como prioritarios de corrección dentro de las áreas de mayor uso.
- d) corregir los apoyos prioritarios.
- e) evaluar las correcciones mediante las tasas de electrocución en los apoyos y los parámetros demográficos de las águilas perdiceras territoriales.

El proceso de selección de territorios según sus tasas de supervivencia de las águilas puso de relieve que existe una gran variabilidad, de forma que existe una mayoría de territorios (un 65,4%) con valores muy bajos de supervivencia, que actúan como verdaderos sumideros de individuos a nivel poblacional, mientras otros muestran valores moderados o elevados. También se observaron agrupaciones de territorios con supervivencias especialmente bajas donde a su vez las electrocuciones eran frecuentes, seguramente a causa de que en aquellas áreas existen tendidos muy peligrosos y/o características ambientales que las hacen proclives a este tipo de accidentalidad. Esta agrupación puede ser tomada como una ventaja para el gestor puesto que puede concentrar sus acciones de conservación en un área geográfica concreta y por lo tanto optimizar los recursos y también las políticas de conservación.

Una de las áreas con bajas supervivencias de los ejemplares territoriales y con presencia importante de electrocuciones se encontraba en la Cordillera Prelitoral de Barcelona, por lo que se seleccionó como área piloto para abordar la mitigación de la electrocución. Dicha área de 1.056 Km<sup>2</sup> de extensión había albergado históricamente 9 territorios, y durante el periodo de estudio incluyó 3 territorios ocupados y 2 desocupados recientemente, todos ellos con niveles bajos de supervivencia en el periodo anterior a las correcciones. Otras razones por la que se eligió esta

área piloto fueron que:

- Había acusado la desaparición de varios territorios paralelamente a una disminución de las tasas de supervivencia e incremento de la electrocución.
- Existía un seguimiento de la población en los últimos 30 años.
- Se encontraban todos ellos en espacios protegidos (Parques Naturales y Red Natura 2.000).
- Había la voluntad por parte de los gestores Diputación de Barcelona y las compañías eléctricas de solventar dicha situación. Todo ello hacía de éste área y situación una ocasión favorable para testar la mitigación de la electrocución de una forma protocolizada y planificada y que además pudiera ser evaluada.

El conocimiento de las áreas más usadas por las águilas mediante radioseguimiento permitió centrar los esfuerzos en aproximadamente un 40% de la superficie del área piloto que era el área más frecuentada por las águilas territoriales y, por lo tanto, donde potencialmente podía haber accidentes por electrocución, lo que además implicaba excluir extensas áreas poco utilizadas por las águilas.

Por otra parte, la aplicación del modelo predictivo del riesgo de electrocución dentro de las áreas usadas por las águilas permitió seleccionar los apoyos clasificados como de corrección prioritaria, es decir, con riesgo elevado o muy elevado de electrocución, y que suponían el 30% de los apoyos presentes en el conjunto de los 3 territorios y el 8,9% de todos los apoyos del área piloto.

En total en las tres áreas usadas por las águilas se corrigió un 12,3% de los apoyos presentes y que suponía un 3,7% del total de apoyos del área piloto. El esfuerzo de corrección de apoyos prioritarios varió del 24 al 50% según los territorios, siendo especialmente mayor en el territorio B, donde se habían encontrado 3 águilas electrocutadas conocimiento complementario que fue usado básicamente para priorizar el esfuerzo y tiempo de las acciones de corrección.

Las correcciones aplicadas se desarrollaron con los técnicos de las compañías, estableciendo diseños de apoyos y cabeceras que se consideraron seguros, y en su defecto medidas de eliminación de partes conductoras en cabecera, con el propósito que fueran de aplicación definitiva.

La evaluación de las correcciones en el campo mostró una reducción importante de la mortalidad de aves en los apoyos corregidos y que, además, esta reducción no estaba asociada a una disminución de las poblaciones de aves en el área, puesto que donde no se habían corregido apoyos (muestras de control en el área piloto), la accidentalidad continuaba con la misma intensidad. A nivel poblacional y en el caso de los tres territorios de águila per-

dicera de la zona, mientras en el periodo anterior a las correcciones la supervivencia de estas fue muy baja, posteriormente a las correcciones incrementó significativamente superando además el umbral para el que una población sea sostenible. Es decir, dichos territorios pasaron de ser "sumideros" de águilas a ser "fuentes", en parte porque la productividad se mantuvo en niveles superiores a la media de Cataluña.

Aunque el aumento de la supervivencia de las águilas podría ser achacado a otros factores como cambios ambientales, cabe señalar que durante el periodo posterior a la corrección de los tendidos no ha habido cambios relevantes ni en el paisaje ni en la abundancia de presas que hagan inferir esta posibilidad. En este sentido mientras anteriormente a las correcciones se encontraron 4 águilas electrocutadas, posteriormente fue sólo una. Este último caso correspondió a una de las últimas áreas donde aún no se habían realizado correcciones. A partir de entonces (2003) no se ha encontrado ningún otro ejemplar electrocutado.

El protocolo de mitigación desarrollado pretendía, mediante un proceso pautado y bien definido, solventar un problema grave de conservación como es la electrocución, que aun mostrando una gran heterogeneidad en el territorio, causa un impacto grave en la avifauna.

El trabajo fue desarrollado a diversas escalas espaciales (de mayor a menor) partiendo de la distribución de la especie, para ir progresivamente descendiendo en el espacio, primero a nivel de territorio de águilas, segundo el área más usada por ellas y finalmente llegar al apoyo que produce el impacto. Este enfoque permitió optimizar esfuerzos y recursos así como ser eficiente en solventar el problema de la electrocución y, en consecuencia, el impacto sobre la población de águilas. Este protocolo basado en la información y criterios científicos permitió "avanzarse al problema"; es decir, no esperar a que un águila se electrocute para corregir el apoyo y, por otro lado, detectar aquellos apoyos realmente peligrosos que son los que estaban causando la mayor parte de mortalidad en la especie y probablemente responsables del declive poblacional.

Habiéndose probado el presente protocolo como eficaz, sería pues aconsejable extrapolarlo al resto del área de distribución de la especie, así como al de otras especies de amplia distribución y con extensos territorios, en que la electrocución u otro tipo de acciden-

talidad agregada sean una amenaza para su supervivencia.

Uno de los pilares de la estrategia establecida es el conocimiento científico obtenido gracias al apoyo de entes públicos y privados, que ha permitido desarrollar conocimientos de la ecología de la especie (selección de territorios y hábitats) básicos para abordar adecuadamente las acciones de conservación de la especie. Por otro lado, la investigación aplicada, que han apoyado especialmente compañías privadas, también ha permitido el desarrollo de modelos predictores de la electrocución y han permitido iniciar el camino de la solución de la electrocución.

Finalmente, una parte importante y fundamental es el seguimiento a largo plazo de la población y de los parámetros vitales del águila perdicera, lo cual ha sido una herramienta indispensable no únicamente para detectar cambios que de otra manera pasarían inadvertidos (disminución de la supervivencia), sino también para poder evaluar la efectividad de las medidas de conservación adoptadas a nivel poblacional.

Cabe destacar que uno de los mayores activos de dicho protocolo fue el trabajo sinérgico y recíproco entre responsables de la conservación (administración pública de la Diputación de Barcelona), investigadores (Universitat de Barcelona) y compañías eléctricas (ENDESA), así como el apoyo de la Fundación Miquel Torres en las investigaciones, todo ello permitió realizar una aproximación multidisciplinar y mejorar los conocimientos y procesos de todos los interlocutores para solventar eficazmente un problema de conservación.

Los ecosistemas mediterráneos albergan uno de los niveles de biodiversidad más elevados del planeta, siendo las aves uno de sus representantes relevantes. Además, entre éstas existen numerosas especies indicadoras y que son sensibles a la calidad ambiental. Muchas de estas especies están amenazadas por las nuevas actividades humanas que transforman sus hábitats y les inducen mortalidad; por lo tanto, la aplicación de protocolos que optimicen la mitigación de los impactos por parte del hombre es fundamental para conservarlas. En el caso del águila perdicera es una especie paraguas en los ecosistemas mediterráneos, por lo que la mitigación de los impactos que acaecen sobre dicha especie tiene un efecto beneficioso para toda la biodiversidad.

## 1. SELECCIÓN DE LAS ÁREAS PRIORITARIAS Y APOYOS A CORREGIR

### (1a) Selección de territorios prioritarios a implementar medidas de corrección

- Detección y selección de aquellos territorios en que los niveles de supervivencia son menores e insostenibles a nivel demográfico, consecuencia de una mayor mortalidad asociada a tendidos eléctricos.
- Cálculo y análisis de los niveles de supervivencia de los ejemplares para cada territorio de águila perdicera.
- Análisis de la distribución de los ejemplares electrocutados por territorio.

### (1b) Determinación de las áreas de mayor uso dentro de los territorios prioritarios

- Delimitación de aquellas áreas más intensamente utilizadas por las águilas en sus territorios y que, en consecuencia, son en las que potencialmente la interacción con los tendidos es más probable. Dicha delimitación se basará en el nivel de uso de Kernel 99% en cada territorio, que será estimado mediante radioseguimiento de los individuos territoriales.

### (1c) Selección de apoyos prioritarios de corrección

- Caracterización mediante modelos predictivos de los apoyos eléctricos situados en las áreas de mayor uso. Para la caracterización de apoyos se establecerán 4 niveles de riesgo de electrocución: *muy elevado*, *elevado*, *bajo* y *muy bajo o nulo*.
- Selección de los apoyos de los 2 niveles de mayor riesgo de electrocución (*muy elevado* y *elevado*). Mitigando el impacto de dichos apoyos, se estima que se reduciría un 80% la electrocución de aves. El procedimiento propuesto permite excluir todos aquellos apoyos que, aunque electrotécnicamente puedan ser peligrosos, por su situación no serán seleccionados como posaderos por las águilas y, por tanto, la probabilidad de electrocución es nula o muy baja.

## 2. IMPLEMENTACIÓN DE LAS CORRECCIONES

- Corrección de los apoyos prioritarios seleccionados en el apartado anterior. Para ello se utilizarán técnicas de corrección de tipo definitivo o máxima permanencia, como por ejemplo el cambio del diseño del apoyo, cambio de estructuras (cabezal) y/o eliminación de partes peligrosas en los apoyos. La utilización de materiales aislantes únicamente se empleará como medida suplementaria, en algunas situaciones donde el cambio de la estructura del apoyo no es posible por razones técnicas.

## 3. EVALUACIÓN DE LAS CORRECCIONES

### (3a) Evaluación de las correcciones mediante seguimiento de apoyos

- Evaluación del impacto de las medidas de corrección implementadas en los apoyos mediante el seguimiento de éstos antes y después de su corrección y la comparación de las tasas de electrocución.
- Paralelamente, realización de un seguimiento durante el mismo período en una muestra control de apoyos sin corregir para determinar si el riesgo potencial de electrocución varía en la zona a lo largo del tiempo.

### (3b) Evaluación de las correcciones mediante seguimiento de la población

- Evaluación del impacto de las medidas de corrección sobre las tasas demográficas (productividad y supervivencia) en los territorios estudiados en dos períodos, uno anterior y otro posterior a las correcciones.

Figura 24. Protocolo para la implementación de medidas para mitigar la electrocución en el águila perdicera.



# **SÍNTESIS Y CONCLUSIONES**

5



## 5.1. BIOLOGÍA DEL ÁGUILA PERDICERA Y ESTADO DE CONSERVACIÓN

- El águila perdicera es una especie amenazada en Europa donde habitan entre 920 y 1.100 parejas de las cuales aproximadamente un 80% (733-768) se encuentran en el Estado Español. Aquí la especie ha sufrido un fuerte declive en las tres últimas décadas disminuyendo especialmente en las zonas del Centro, Norte y Levante, mientras que en Andalucía y Extremadura sus poblaciones se han mantenido estables.
- La población de águila perdicera en Cataluña está compuesta por unas 70 parejas (aproximadamente un 9% de la población en España) distribuidas por las sierras litorales y Prepireneo. Su población sufrió un descenso del 20% a partir de 1990 desapareciendo parejas de áreas tradicionales. Actualmente la población se mantiene estable e incluso presenta una tímida tendencia a la recuperación.
- El águila perdicera es una especie que vive en áreas de clima mediterráneo ocupando sierras, colinas o cañones fluviales desde el nivel del mar hasta los 1.500 m de altitud.
- Las águilas territoriales viven en pareja, y ocupan un territorio durante todo el año que puede oscilar entre 30 y 250 km<sup>2</sup> y en el cuál existe el área de cría que suele ser un cortado de roca o barranco donde sitúan el nido. Dentro del territorio existen zonas de caza preferiblemente cubiertas por matorral, pequeños bosques que alternan con cultivos de secano que son las áreas propicias para sus presas.
- La reproducción se inicia en otoño con la reconstrucción de los nidos, mientras que la puesta de huevos (de 1 a 3) suele ocurrir entre finales de enero y inicios de marzo, siendo la incubación de unos 40 días y la crianza de los pollos de unos 60-70 días. La dieta de las águilas se basa en mamíferos y aves de mediano tamaño como conejos, perdices y palomas, aunque también caza otras aves y lagartos.
- Una vez los pollos salen del nido permanecen cerca de dos meses con sus progenitores que les alimentan y enseñan las técnicas de vuelo hasta su emancipación y dispersión. El periodo de dispersión suele durar entre 2 y 4 años, y consiste en una etapa de nomadismo durante el cual los jóvenes se establecen temporalmente en áreas donde abundan las presas y no existen parejas reproductoras. Finalmente los jóvenes que sobreviven se incorporan a alguna población reproductora bien ocupando vacíos de ejemplares desaparecidos bien colonizando territorios nuevos.

## 5.2. CENSO DE LA POBLACIÓN EN 2013 Y VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEMOGRÁFICOS DURANTE 1990-2013

- Durante el año 2013 se siguió una muestra de la población reproductora de águila perdicera en Cataluña de 58 territorios a lo

largo de las sierras litorales desde el Empordà (norte) hasta el río Ebro (sur). 52 estaban ocupados por parejas territoriales de águilas, 5 se mantuvieron desocupados como en años anteriores y en otro más no se pudo determinar su ocupación. No se detectó decremento de la población en relación a años anteriores.

- La productividad en 2013 fue de 0,71 pollos volados por pareja territorial, el valor más bajo registrado en Cataluña hasta la fecha (1,02 de media en el período 1990-2013) probablemente a causa de las lluvias continuadas durante la primavera. La supervivencia territorial adulta en 2013 fue del 93,76%, un valor de supervivencia anual superior a los estimados para el período 1990-2013 (88,85%).
- Durante el período 1990-2013 se observó una tendencia de la disminución de la productividad y de la supervivencia territorial adulta. Sin embargo, los valores de supervivencia territorial obtenidos en 2012 y 2013 rompen esta tendencia negativa, aunque se desconoce si es circunstancial.

## 5.3. CAUSAS DE MORTALIDAD

- Durante el período 1960-2013, los ejemplares encontrados muertos o heridos fueron un 49,71% por electrocución, un 25,14% por persecución por disparo, trampas u otros métodos y un 3% por causas de origen natural. A partir de 1990 se observó un incremento de los accidentes por electrocución que podría estar relacionado con el incremento de construcción de tendidos a raíz de la implementación de los planes de electrificación rural y la sustitución de antiguos postes de madera por otros de metal generalmente más peligrosos. Aunque la proporción de ejemplares muertos o heridos por disparos disminuyó a lo largo del tiempo, el número absoluto no lo hizo. La utilización de métodos de individualización de ejemplares y el uso de técnicas modernas estadísticas permitirá en el futuro tener estimas más precisas de los niveles de las causas de mortalidad en la especie.
- Por otra parte no són negligibles otras causas de mortalidad como la colisión con infraestructuras (tendidos, vallas e infraestructuras) así como los ahogamientos en balsas.

## 5.4. ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA POBLACIÓN

- La población catalana de águila perdicera se encuentra en desequilibrio demográfico de manera que no es autosostenible. De tal forma que si se asume la ausencia de intercambio de individuos con otras poblaciones se estima que sufriría un descenso de aproximadamente un 3% anual y que al cabo de unos 50 años se encontraría al borde de la extinción. Para llegar a un equilibrio demográfico entre las muertes y los nacimientos sería necesario alcanzar valores de supervivencia adulta de aproximadamente

un 92,5% cuando actualmente este parámetro se encuentra en 88,85%.

- Los modelos demográficos más realistas son aquellos que consideran la estructura espacial del conjunto de poblaciones Franco-Ibéricas y que la población catalana tiene intercambio de individuos con las poblaciones vecinas. Dichos modelos sugieren que la población catalana actúa como una población sumidero y, por lo tanto, se mantiene gracias a la entrada neta de ejemplares foráneos. En consecuencia, su situación es frágil ya que su mantenimiento depende del estado de otras poblaciones y que, en caso que éstas empeoraran, el tamaño de la población catalana descendería rápidamente. Además, el efecto sumidero de la población tiene un efecto negativo sobre el conjunto de las poblaciones y que se acrecentaría en el supuesto de que dichas poblaciones mostraran problemas. Esta situación es reversible si se realizan las actuaciones de mitigación de la mortalidad adecuadas.
- La tasa de crecimiento poblacional puede aumentar o disminuir en función de las variaciones en los principales parámetros demográficos. No obstante, el efecto que tienen dichas variaciones sobre la tasa de crecimiento poblacional difiere según el parámetro demográfico considerado, de forma que desde la perspectiva de la conservación generalmente es preferible actuar sobre aquellos parámetros que tienen un mayor efecto o, lo que es lo mismo, aquellos parámetros a los cuales la tasa de crecimiento poblacional muestra mayor sensibilidad. Los análisis mostraron que la supervivencia de los individuos territoriales es el parámetro con un mayor efecto sobre la tasa de crecimiento anual de la población, aproximadamente unas 32 veces más que la productividad y 2,7 veces más que la supervivencia preadulto. En base a estos resultados, deberían priorizarse aquellas acciones de que tiendan a aumentar la supervivencia de los ejemplares territoriales.

## 5.5. MITIGACIÓN DE LA ELECTROCUCIÓN DEL ÁGUILA PERDICERA: PROTOCOLO PARA OPTIMIZAR LAS ACCIONES DE CONSERVACIÓN

- La mitigación de la electrocución se considera una de las medidas clave para la mejora del estado de conservación de la población catalana de águila perdicera. Para ello se desarrolló un protocolo de actuación de mitigación de la electrocución que permitiera optimizar los recursos económicos, de personal y de tiempo, bajo la premisa de máximo rendimiento en conservación con la mínima inversión de recursos.
- El protocolo para la mitigación de la electrocución consistió en: a) seleccionar y priorizar aquellos territorios ocupados por águilas territoriales con menor supervivencia; b) determinar las áreas de mayor uso por parte de las águilas dentro de los territorios priori-

tarios; c) seleccionar los apoyos más peligrosos dentro de las áreas de mayor uso; d) corregir los apoyos prioritarios seleccionados; e) evaluar las correcciones de los apoyos sobre las tasas de electrocución y sobre los parámetros demográficos del águila perdicera.

- La selección y priorización de los territorios de águila perdicera consistió en el análisis de la supervivencia de las águilas en los territorios, seleccionando aquellos que mostraran niveles de supervivencia inferiores al 92,5%. Dicho análisis resultó en la selección de un área piloto 1.056 km<sup>2</sup> en la cordillera prelitoral de Barcelona por contener 3 territorios ocupados y dos abandonados con bajas tasas de supervivencia y en los que se detectaron ejemplares electrocutados.
- Para seleccionar las áreas de mayor uso dentro de los territorios ocupados de águilas en el área piloto se realizó radioseguimiento de los ejemplares escogiendo para cada territorio el nivel de uso del *Kernel* 99% que correspondía el 40% del área piloto.
- Para seleccionar los apoyos prioritarios se caracterizaron 3.258 apoyos que correspondieron a la totalidad de los apoyos dentro de las áreas de mayor uso de las águilas y al 30 % de los apoyos presentes en el área piloto. Para dichos apoyos se aplicó el modelo de predicción de peligrosidad de electrocución resultando 977 como prioritarios de corrección (de riesgo muy elevado y elevado), que su vez eran un 30% de los apoyos del área de mayor uso de las águilas y un 8,9% del total de apoyos del área piloto.
- Se corrigieron un total de 402 apoyos dentro de los tres territorios de las águilas con el criterio de que las correcciones fueran definitivas o de máxima permanencia, como el cambio de diseño del apoyo, del cabezal o la sustitución de elementos conductores peligrosos utilizando sólo aislamientos como medidas complementarias de apoyo. La intensidad de corrección fue acorde con la peligrosidad de los apoyos en los territorios y a su vez con el impacto conocido de la electrocución en ellos.
- La evaluación de las correcciones a nivel de tasas de electrocución de aves en los tendidos corregidos mostró una reducción muy significativa de la electrocución. Mientras que a nivel de la población de águila perdicera se observó un incremento significativo de las tasas de supervivencia de los ejemplares territoriales de águila perdicera hasta el 100%, lo que determinó que estos territorios pasaran a actuar como "fuentes".
- Uno de los mayores activos del trabajo realizado y en concreto del protocolo establecido fue el trabajo sinérgico y recíproco entre responsables de la conservación (administración pública de la Diputación de Barcelona), investigadores (Universitat de Barcelona) y compañías eléctricas (ENDESA), lo que aparte de consistir en una aproximación multidisciplinar y mejorar los procesos y conocimientos de todos los interlocutores permitió solventar eficazmente un problema de conservación.

- Habiéndose probado como eficaz el presente protocolo, sería incluso a otras especies con problemáticas similares como una herramienta adecuada para solucionar el problema de la electrocución, e  
pues aconsejable extrapolarlo al resto de distribución de la especie donde es conocido que existen problemas de electrocución, e



## **AGRADECIMIENTOS**

6





## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer especialmente a Antoni Palau Ibars y Margarita Díaz del Departamento de Medio Ambiente y Cambio Climático de ENDESA, la idea de elaborar esta monografía, así como su interés durante estos años en realizar investigaciones aplicadas sobre las águilas y su conservación. Agradecer muy especialmente a Valentí Claret, Josep Gil y Agustí López Rodríguez de FECSA-ENDESA que impulsaron de forma pionera el primer convenio de mitigación de la electrocución y que, con sus ideas y profesionalidad, hicieron posible la implementación de correcciones de los tendidos en situaciones a veces de dificultades técnicas y administrativas que siempre solventaron. A todos los técnicos de zona de FECSA-ENHER y ENDESA, por aportar soluciones prácticas y fiables en la corrección de tendidos. Igualmente a las compañías Electra Caldense S.A. y en concreto a Albert y Oriol Xalabarder, y de Estabanell y Pahisa Energía S.A. a Albert Estapé y Francesc Estabanell por las tareas de corrección de sus respectivos tendidos.

Al Àrea d'Espais Naturals de la Diputació de Barcelona y en especial a Carles Castell, Antoni Maza, Ramon Espinach, Daniel Guinard, Angel Miño y Martí Domènech por impulsar igualmente de forma pionera y en su día arriesgada el apoyo a la investigación, cartografía y corrección de tendidos, así como el apoyo en el seguimiento de las águilas.

Queremos agradecer a la Fundació Miquel Torres de Vilafranca del Penedès, por el apoyo al seguimiento de la población catalana de águilas perdiceras durante más de 20 años lo que redundó en la obtención de información indispensable para el desarrollo de las medidas de conservación de la especie. Y en particular agradecer el apoyo incondicional a la conservación de las águilas de Miquel Agustí Torres, Angel de la Rubia, Xavier Sort, Albert Puig, Joan Font y Gérard Rocamora.

Durante todos estos años el equipo de investigación ha tenido el

apoyo institucional de los órganos de gobierno y administrativo de la Universitat de Barcelona los cuáles han favorecido la investigación y la colaboración entre administraciones, empresas e investigadores para desarrollar conocimientos innovadores y aplicados para la mitigación de la electrocución. Queremos agradecer especialmente el apoyo recibido por Màrius Rubiralta, Joan Tugores, Marçal Pastor, Dídac Ramírez, Jordi Alberch y Enric Canela. Igualmente a Rosa Martínez de Comunicació por su empeño en divulgar con criterio riguroso los conocimientos científicos.

Parte de la información obtenida fue generada gracias a los proyectos del Ministerio de Educación y el Ministerio de Ciencia e Innovación CGL2004-03189/BOS, CGL2007-64805/BOS y CGL2010-17056/BOS. Además, también se contó con la inestimable colaboración del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, y particularmente a Víctor García Matarranz.

Finalmente, agradecer a los investigadores y técnicos del Equip de Biologia de la Conservació de la Universitat de Barcelona, como Santi Mañosa, pionero en el estudio del impacto de los tendidos, Francesc Parés, Rafel Bosch, Jaime Resano y Elena López-Zozaya por su participación en la generación, recopilación y análisis de información durante todos estos años. También agradecemos la colaboración del Grup de Suport de Muntanya del Cos d'Agents Rurals de la Generalitat de Catalunya, así como al Servei de Biodiversidad del Departament d'Agricultura de la Generalitat de Catalunya por la aportación de información. Agradecer al Centre de Recuperació de Torreferrussa y en especial a Joan Mayné, Elena Obón, Rafa Molina, y Manel Pomarol; al Centre de Recuperació de Vallcalent y en especial a César Piñol y Xavier Marco, por la aportación de información relevante de mortalidad de águilas. Al Institut Català d'Ornitologia por la colaboración en los seguimientos y anillamiento del águila perdicera a largo plazo. Y para terminar, también agradecer a los autores de las fotografías que ilustran este trabajo, especialmente a Sébastien Durand, Alain Marmasse, Àlex Ollé y Jacobo Ramos.



## **BIBLIOGRAFÍA**

7



## BIBLIOGRAFÍA

- Angelov, I., Hashim, I. y Opper, S. (2013). Persistent electrocution mortality of Egyptian Vultures *Neophron percnopterus* over 28 years in East Africa. *Bird Conservation International*, 23:1-6.
- Avian Power Line Interaction Committee (APLIC). (2006). Suggested Practices for Avian Protection on Power Lines: The State of the Art in 2006. Edison Electric Institute, APLIC, and the California Energy Commission. Washington, D.C and Sacramento, CA.
- Bayle, P. 1999. Preventing birds of prey problems at transmission lines in western Europe. *Journal of Raptor Research*, 33: 43-48
- Bevanger, K. (1994). Bird interactions with utility structures: collision and electrocution, causes and mitigation measures. *Ibis*, 136: 412-425.
- BirdLife International / European Bird Census Council (2000). European bird populations: estimates and trends. Cambridge, UK: BirdLife International (BirdLife Conservation Series No. 10)
- BirdLife International (2015). Species factsheet: *Aquila fasciata*. Downloaded from <http://www.birdlife.org>
- Bosch, R., Real, J., Tintó, A., Zozaya, E. L. y Castell, C. (2010). Home-ranges and patterns of spatial use in territorial Bonelli's Eagles *Aquila fasciata*. *Ibis*, 152: 105-117. doi: 10.1111/j.1474-919X.2009.00985.x
- Boshoff, A.F., Minnie, J.C., Tambling, C.J. y Michael, M.D. (2011). The impact of power line-related mortality on the Cape Vulture *Gyps coprotheres* in a part of its range, with an emphasis on electrocution. *Bird Conservation International*, 21(3): 311-327.
- DARPANM-CTFC, (2014). Pla general de política forestal 2014-2024. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural (DARPANM Generalitat de Catalunya) i Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC). 103 pp.
- Del Hoyo, J., Elliott, A. y Sargatal, J. (1994). *Handbook of the Birds of the World, vol. 2: New World Vultures to Guineafowl*. Lynx Edicions, Barcelona.
- Del Moral, J.C. (Ed.) (2006). El águila-azor perdicera en España. Población en 2005 y método de censo. SEO/BirdLife. Madrid.
- De Vos, J.M., Joppa, L.N., Gittleman, J.L., Stephens, P.R. y Pimm, S.L. (2014). Estimating the Normal Background Rate of Species Extinction. *Conservation Biology*, publicado online el 26/08/2014. doi: 10.1111/cobi.12380
- Ferrer, M. (2012) Aves y tendidos eléctricos. Del conflicto a la solución. Fundación Migres y Endesa.
- Estrada, J., Pedrocchi, V., Brotons, L. y Herrando, S. (eds.) (2004). Atlas dels ocells nidificants de Catalunya 1999-2002. Institut Català d'Ornitologia (ICO) / Lynx Edicions, Barcelona.
- Forsman, D. (1999) The raptors of Europe and Middle East. A handbook of field identification. T & AD Poyser, London.
- González, L.M. y Oria, J. (2004). Águila Imperial Ibérica. *Aquila adalberti*. pp. 145-151. En: Madroño, A., González, C. y Atienza, J.C. (Eds.): Libro Rojo de las Aves de España. Dirección General para la Biodiversidad-SEO/BirdLife. Madrid.
- Guil, F., Fernández-Olalla, M., Moreno-Opo, R., Mosqueda, I., Gómez, M.E., Aranda, A., Guzmán, J., Oria, J., González, L.M. y Margalida, A. (2011). Minimising Mortality in Endangered Raptors Due to Power Lines: The Importance of Spatial Aggregation to Optimize the Application of Mitigation Measures. *PLoS ONE* 6 (11): e28212. doi: 10.1371/journal.pone.0028212
- Guinard, D., Real, J., Tintó, A. y Pérez, P. (2001). Partnership agreement for the application of measures to prevent the electrocution of birds. *4th Eurasian Congress on raptors*. Sevilla.
- Hernández-Matías, A. y Real, J. (2009). Population Viability Analysis of the Bonelli's Eagle: Modeling the Whole Western European Metapopulation. En: Raptor Research Foundation. *2009 Annual Conference. 29 September - 4 October 2009*. Pitlochry, Scotland.
- Hernández-Matías, A., (2010). Analyse démographique des populations de France, de Catalogne et d'autres régions de la péninsule ibérique: Analyse de la survie et viabilité des populations. En: Scher O. & M. Lecacheur (eds.). *La conservation de l'Aigle de Bonelli. Actes du colloque international, 28 et 29 janvier 2010, Montpellier*. CEN LR, CEEP, CORA FS & DREAL LR: 23-26.
- Hernández-Matías, A., Real, J., Pradel, R., Ravayrol, A., Vincent-Martin, N., Bosca, F. y Cheylan, G. (2010). Determinants of Territorial Recruitment in Bonelli's Eagle (*Aquila fasciata*) Populations. *The Auk*, 127, Issue 1: 173-184. doi: 10.1525/auk.2009.09143

- Hernández-Matías, A., Real, J. y Pradel, R. (2011a). Quick methods for evaluating survival of age-characterizable long-lived territorial birds. *Journal of Wildlife Management*, 75 (4): 856-866. doi: 10.1002/jwmg.102
- Hernández-Matías, A., Real, J., Pradel, R., Ravayrol, A. y Vincent-Martin, N. (2011b). Effect of age, territoriality and breeding on survival in Bonelli's Eagle *Aquila fasciata*. *Ibis*, 153: 846-857. doi: 10.1111/j.1474-919X.2011.01158.x
- Hernández-Matías, A., Real, J., Moleón, M., Palma, L., Sánchez-Zapata, J.A., Pradel, R., Carrete, M., Gil-Sánchez, J.M., Beja, P., Balbontín, J., Vincent-Martin, N., Ravayrol, A., Benítez, J.R., Arroyo, B., Fernández, C., Ferreiro, E., y García, J. (2013). From local monitoring to a broad-scale viability assessment: a case study for the Bonelli's Eagle in western Europe. *Ecological Monographs*, 83:239-261. <http://dx.doi.org/10.1890/12-1248.1>
- ICAEN, (2003). Línies elèctriques aèries i subterrànies a Catalunya. Institut Català d'Energia (ICAEN). Direcció General d'Energia i Mines. Departament de Treball, Indústria, Comerç i Turisme (Generalitat de Catalunya). *Estudis monogràfics*, 13. 62 pp.
- Janss, G.F.E. y Ferrer, M. (1999). Avian electrocution on power poles. European experiences. En: Ferrer, M. y Janss, G.F.E. (Eds.): *Birds and power lines. Collision, Electrocution and Breeding*, 145-159. Editorial Quercus, Madrid.
- Loss, S.R., Will, T. y Marra, P.P. (2014). Refining Estimates of Bird Collision and Electrocution Mortality at Power Lines in the United States. *PLoS ONE*, 9 (7): e101565. doi:10.1371/journal.pone.0101565
- Magin, C. (2011). Survey of vultures in Sudan. *Bulletin of the African Bird Club*, 18 (1): 5.
- Mañosa, S. (1995). Electrocució d'ocells: Primer seguiment de línies elèctriques a les comarques de Lleida. Departament de Biologia Animal de la Universitat de Barcelona.
- Mañosa, S., Real, J. y Codina, J. (1998). Selection of settlement areas by juvenile Bonelli's Eagle in Catalonia. *Journal of Raptor Research*, 32 (3): 208-214.
- Mañosa, S. (2001). Strategies to identify dangerous electricity pylons for birds. *Biodiversity and Conservation*, 10:1997-2012.
- Moleón, M., Bautista, J., Garrido, J.R., Martín-Jaramillo, J., Ávila, E. y Madero, A. (2007). Correcting power lines in dispersal areas of Bonelli's Eagle: potential positive effects on the raptor community. *Ardeola*, 54 (2): 319-325.
- Morris, F.W. y Doak, D.F. 2002. *Quantitative Conservation Biology. Theory and Practice of Population Viability Analysis*. Sinauer, Sunderland.
- Muñoz, A.R., Real, R., Barbosa, A.M. y Vargas, J.M. (2005). Modelling the distribution of Bonelli's eagle in Spain: implications for conservation planning. *Diversity and Distributions*, 11: 477-486. doi: 10.1111/j.1366-9516.2005.00188.x
- Real, J. (2003). Águila-azor perdicera. En: Martí, R. y Del Moral, J.C. Atlas de las aves reproductoras de España: 192-193. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Real, J. (2004). Águila Azor-perdicera. *Hieraetus fasciatus*. pp. 154-157. En: Madroño, A., González, C. y Atienza, J.C. (Eds.): Libro Rojo de las Aves de España. Dirección General para la Biodiversidad-SEO/BirdLife. Madrid.
- Rollan, À., Real, J., Bosch, R., Tintó, A. y Hernández-Matías, A. (2010). Modelling the risk of collision with power lines in Bonelli's Eagle *Hieraetus fasciatus* and its conservation implications. *Bird Conservation International*, 20: 279-294. doi: 10.1017/S0959270910000250
- Tintó, A., Real, J. y Mañosa, S. (2001). A classification method of power lines to optimize mitigation actions against bird electrocution. *4th Eurasian Congress on raptors*. Sevilla.
- Tintó, A., Real, J. y Mañosa, S. (2002). Avaluació del risc d'electrocució d'aus en línies elèctriques situades a Sant Llorenç del Munt i rodalies. V Trobada d'Estudiosos de Sant Llorenç del Munt i l'Obac. Monografies 35: 129-133 Diputació de Barcelona. Barcelona.
- Tintó, A. y Real, J. (2003). Aplicación de medidas para mitigar la electrocución del águila perdicera en Cataluña. *Jornadas nacionales de líneas eléctricas y conservación de aves en espacios naturales protegidos*. Sierra de España, Murcia.
- Tintó, A. y Real, J. (2004). Optimización de las actuaciones para mitigar la electrocución mediante un método de detección de los apoyos peligrosos para las aves. *XVII Congreso español de Ornitología*. Madrid.

- Tintó, A. y Real, J. (2011). Mise en place des mesures anti-électrocution dans la province espagnole de Barcelone: método, résultats et perspectives. In SCHER, O. & M. LECACHEUR (eds). 2001. La conservation de l'Aigle de Bonelli. *Actes du Colloque International, 2010*, Montpellier: CEN LR, CEEP, CORA FS & DREAL: 88-91.
- Tintó, A., Real, J. y Mañosa, S. (2005). A classification method of power lines to prevent forest fires caused by bird electrocution. *II International Conference on prevention strategies of fires of Southern Europe*. Barcelona.
- Tintó, A. y Real, J. (2008). Aplicación de medidas para mitigar la electrocución de aves en la provincia de Barcelona. *II Curso sobre líneas eléctricas y protección de la avifauna*. Torre Guil, Murcia.
- Tintó, A., Real, J. y Mañosa, S. (2009). Modeling the Electrocutation Risk of Raptors in Powerlines and Evaluating Mortality Rates at Corrected Pylons. En: Raptor Research Foundation. *2009 Annual Conference. 29 September - 4 October 2009*. Pitlochry, Scotland.
- Tintó, A., Real, J. y Mañosa, S. (2010). Predicting and correcting electrocution of birds in mediterranean areas. *The Journal of Wildlife Management*, 74 (8): 1852-1862. doi: 10.2193/2009-521.
- Worton, B.J. (1989). Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology*, 70: 164-168.

**COORDINACIÓN EDITORIAL:**

Dirección General de Comunicación de ENDESA  
Dirección de Medio Ambiente y Cambio Climático de España y Portugal. ENDESA (España)

**DISEÑO E IMPRESIÓN:**

Off-7 S.A.

**TEXTO, FIGURAS Y FOTOS:**

©Autores

**EDICIÓN:**

©ENDESA, S.A.



Impreso en el mes de enero de 2015

**Depósito legal** L 737-2015

Han colaborado con proyectos y convenios específicos y simultáneos:



Fundació Miquel Torres  
de Vilafranca del Penedès



Universitat de Barcelona



Diputació de Barcelona

Queda prohibida la reproducció total o parcial de textos e imatges que apareixen en esta publicació.







**Medio Ambiente y Cambio Climático de España y Portugal  
Biodiversidad, I+D+I ambiental y Recursos Hídricos**