

# Aves y tendidos eléctricos

## Del conflicto a la solución

*Miguel Ferrer*





**Miguel Ferrer Baena** es Profesor de Investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y trabaja en la Estación Biológica de Doñana, de la que fue director desde 1996 hasta 2000. Es Director *at large* de la *Raptor Research Foundation* desde 1998 y presidente de la Fundación MIGRES desde 2003. En 2007 entra a formar parte del grupo de expertos de “*Biodiversity and Climatic Change*” del Consejo de Europa. En 2011 es nombrado profesor adjunto de la *Boise State University*. Actualmente es el Coordinador Institucional del CSIC en Andalucía.

Ha publicado más de 130 artículos en revistas científicas incluidas en el SCI, varios libros y ha dado más de 80 conferencias en distintas universidades. Su investigación presenta tres líneas principales: dinámica de pequeñas poblaciones y conservación de especies en peligro de extinción, particularmente del águila imperial ibérica. Una segunda línea sobre el estudio aplicado de los impactos de diferentes infraestructuras humanas, como parques eólicos, líneas eléctricas, carreteras, vías férreas, sobre el medio natural y las medidas para mitigar sus potenciales impactos. Y una tercera línea sobre los efectos del cambio global sobre la distribución de las especies y las migraciones de las aves.

En este libro quedan plasmadas dos de sus grandes pasiones, el estudio de la dinámica de la población de águila imperial ibérica en Doñana y el estudio y corrección del impacto de las líneas eléctricas, obteniendo el mejor resultado posible, la coexistencia de aves y tendidos eléctricos.



**Endesa** es la mayor empresa eléctrica española. En Endesa, miramos al futuro y buscamos soluciones inteligentes, para desarrollar propuestas realistas ante los retos energéticos del presente y el futuro. Nuestra corporación está además fuertemente comprometida con la conservación del medio ambiente, pues creemos firmemente que el suministro del servicio debe y puede ser compatible con la preservación del entorno. De este modo, hemos sido pioneros tanto en el estudio de los impactos que pudieran causar las líneas eléctricas que atraviesan nuestro paisaje, como en la búsqueda de soluciones a estos impactos.



La **Fundación Migres** es una entidad privada sin ánimo de lucro creada en 2003 para promover la investigación sobre el fenómeno de la migración de las aves y fomentar actividades orientadas al desarrollo sostenible, desde el convencimiento de que en este modelo de actuaciones residen las mejores herramientas para la conservación de la biodiversidad.

La Fundación Migres se ha consolidado, además, como una institución esencial para conciliar crecimiento sostenible y conservación de la biodiversidad, aportando soluciones a desafíos ambientales que, adecuadamente abordados, se convierten en oportunidades de desarrollo económico y social sostenible.

# **Aves y tendidos eléctricos**

## **Del conflicto a la solución**

*Miguel Ferrer*



**Autor:** Miguel Ángel Ferrer Baena

**Edita:** Fundación MIGRES

**Coordinación editorial:** Teresa Vicetto / [www.biodivers.com](http://www.biodivers.com) / S.I.A. S.L.

**Revisión final:** Manuela de Lucas y Teresa Vicetto

**Traducción al inglés:** Michael Lockwood

**Coordinación impresión:** Inés Rico/Nilo Industria Gráfica S.A.

**Imágenes:** Asistencias Técnicas Clave S.L. y EBD (CSIC)

**Fotografía portada:** Stephen Daly-Andalucian Guides

**Fotografía contraportada:** EBD (CSIC)

**Diseño cubierta:** Nilo Industria Gráfica S.A. y S.I.A. S.L.

**Impresión:** Nilo Industria Gráfica S.A.

**Primera edición** © 2012 ENDESA S.A. y Fundación MIGRES

**Sevilla 2012**

**Edición patrocinada por Endesa**

**ISBN:** 978-84-615-8209-9

**D.L.:** SE 2945-2012

© Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada o transmitida, parcial o totalmente, ni por ningún medio, ya sea electrónica, mecánica, óptica o fotocopia, sin permiso del editor.

© ENDESA S.A.  
C/ Ribera del Loira 60  
28042, Madrid  
[www.endesa.com](http://www.endesa.com)

© Fundación MIGRES  
Ctra. Nacional 340, km 97,2  
Algeciras, Cádiz  
[www.fundacionmigres.org](http://www.fundacionmigres.org)





# Índice

<b>Agradecimientos</b> .....	11
<b>1. Antecedentes</b> .....	13
Los comienzos de la historia.....	13
Impacto de los tendidos eléctricos.....	14
Interacciones con la fauna.....	16
<b>2. Estados Unidos, Alemania, Holanda y otros países en los años 50-80</b> .....	21
La historia americana.....	21
La historia africana.....	24
La historia europea.....	25
<b>3. La historia española</b> .....	27
Doñana y el águila imperial.....	27
Doñana sin tendidos eléctricos.....	39
Águilas imperiales y líneas eléctricas fuera de Doñana.....	45
<b>4. No más tendidos eléctricos peligrosos</b> .....	57
El decreto de protección andaluz.....	57
Los decretos de otras comunidades autónomas.....	60
El decreto de protección nacional.....	63
<b>5. El proyecto PIE: una investigación necesaria</b> .....	65
<b>6. El proyecto PIE: estudio de la colisión</b> .....	69
Estimación de la mortalidad.....	69
Eficacia de sistemas anticolidión.....	72
<b>7. El proyecto PIE: estudio de la electrocución</b> .....	75
Estimación de la mortalidad.....	75
Ensayos en laboratorio.....	80
Eficacia de sistemas antielectrocución.....	93
<b>8. El proyecto PIE: conclusiones y algo más</b> .....	99
<b>9. Los resultados de las protecciones de tendidos</b> .....	107
El efecto de la protección de tendidos en la supervivencia del águila imperial.....	108
<b>10. Últimos avances en colisión y electrocución</b> .....	115
<b>11. El futuro, nuevos problemas, oportunidades y recomendaciones</b> .....	119
<b>12. Bibliografía</b> .....	123
<b>13. Anexos</b> .....	129







# Agradecimientos

A todos los que colaboraron en la solución, consiguiendo que aves y tendidos pudieran coexistir, dándole así una oportunidad al águila imperial.

## *A los que lo hicieron desde las empresas eléctricas:*

**Sevillana (Endesa):** Javier Casas, Fernando Manzanares, José Antonio Martínez, Joaquín Muñoz, Fernando Ordóñez, Rafael Pacheco y Fernando Rubiales

**Red Eléctrica de España:** Javier Arévalo, Roberto Arranz, Antonio Calvo, Mercedes Gil, Víctor Navazo y Jorge Roig

**Iberdrola:** Gaspar Gazo, Javier Goitia, José Luis Larrea y José Ramón Urcelay

## *A los que lo hicieron desde la Administración:*

**ICONA:** Rafael Cadenas y Manolo Mañez

**Consejerías de Medio Ambiente:** Agustín Madero, Fernando Ortega, Rosario Pinto, Manolo Rodríguez y Ángel Sánchez

**Ministerio de Industria:** Joaquín Gortázar

## *A los que lo hicieron desde otros ámbitos:*

**Las Lomas:** José Ramón Mora Figueroa, Fernando Mora Figueroa, Ramón Mora Figueroa y José Antonio Ortíz

**El Pardo:** Juan Carlos I

## *A los que lo hicieron trabajando conmigo:*

Eva Casado, Javier Castroviejo, Cecilia Calabuig, José Cepeda, María Luisa Chacón, Juanjo Ferrero, Guyonne Janss, Alfonso Lazo, Manuela de Lucas, Elena Migens, Viviane Morlanes, Juanjo Negro, Silvia Regidor, Juan Requejo, Manuel de la Riva, Rob Roozen, Guiseppe Saba, Jesús Sánchez y Celia Santos.

*A Manuela de Lucas, que me ayudó con este libro  
Y a Ester, Julia y Claudia, por todo.*





# 1. Antecedentes

## Los comienzos de la historia

Si George Perkins Marsh hubiese escrito su libro *Physical geography as modified by human action* (1864) cien años después, sin ninguna duda habría dedicado un largo capítulo a los tendidos eléctricos como uno de los impactos más evidentes de la acción humana en el paisaje. Si tuviésemos que escoger un indicador sencillo del nivel de desarrollo de las sociedades modernas, un buen candidato sería el número de kilómetros de tendidos eléctricos por habitante. La revolución industrial, el desarrollo de sistemas de producción en serie, la demanda energética de las grandes urbes y la mecanización y puesta en regadío de los campos, acompañados por el crecimiento de la población humana, ha generado una inmensa red de transporte y distribución de energía como nunca antes habíamos conocido. La energía es la fuente originaria de la vida y el combustible necesario para la extensión del bienestar y el desarrollo económico. La era industrial multiplica exponencialmente las necesidades de energía para el consumo humano y sitúa la capacidad de transportar la energía desde su lugar de origen al consumidor final como un índice inequívoco del desarrollo de nuestras sociedades. Los tendidos eléctricos, convertidos durante la era moderna en componentes elementales de nuestro paisaje, son instrumentos imprescindibles para el transporte de energía entre producción y consumo. La reciente apuesta en muchos países por el desarrollo de energías renovables como una parte importante de la generación ha incrementado aún más la necesidad de líneas eléctricas, particularmente las de transporte y es previsible que así siga siendo al menos en un futuro próximo.

Las líneas de tendido eléctrico que transportan la energía desde los centros de producción hasta los centros de transformación o los que la distribuyen posteriormente hasta los puntos de consumo cubren el espacio como una inmensa red de araña, incluyendo por supuesto los espacios naturales más o menos protegidos. Una serie de costes ambientales se derivan de este hecho ineludible. El esfuerzo por minimizar estos costes ambientales ha puesto de relieve el clásico conflicto entre el correcto funcionamiento de las instalaciones eléctricas (subestaciones y tendidos) y la conservación de la biodiversidad.

La electricidad es distribuida habitualmente por líneas eléctricas aéreas de cables desnudos. Esos cables se denominan conductores o fases. La diferencia de potencial que normalmente transportan los conductores oscila entre 1 y 400 kV (kilovoltios). Cuando la tensión está por debajo de 1 kV se conoce como de baja tensión, y lo forman entre otros los circuitos domésticos. Esta tensión no tiene ninguna relación con las aves. La conocida como media tensión se sitúa en España habitualmente entre 14 y 45 kV. Las líneas de media y alta se dividen en líneas de transporte (66-400 kV) y líneas de dis-



tribución (14-45 kV). Aunque la división entre líneas de transporte y de distribución es comúnmente usada, los intervalos de tensiones pueden diferir entre países e incluso entre compañías eléctricas.

Las líneas de transporte conducen la energía desde los grandes centros de producción (centrales térmicas, hidroeléctricas, nucleares o renovables) hasta los grandes centros de consumo (ciudades, grandes industrias, etc.) y hasta las subestaciones desde las que se alimentan las líneas de distribución. Estas últimas son las encargadas de llevar la energía a los pequeños centros de consumo. Incluso para un lego en la materia, es fácil distinguir ambas clases de líneas. Las líneas de transporte se apoyan en grandes torretas de 25 o más metros de altura y, suelen llevar, además de los conductores, unos pequeños cables encima de ellos que se conocen como cables de tierra y que sirven de protección a la línea, repartiendo la toma a tierra entre varias torretas en caso, por ejemplo, de la caída de un rayo. Las torretas de las líneas de transporte en España suelen ser de celosía de metal, aunque el uso de hormigón no es raro en algunos países. En tendidos de transporte, y dada su tensión nominal, los aisladores son cadenas de gran longitud y normalmente tienen tres conductores por circuito, aunque es frecuente que lleven más de un circuito en la misma línea (doble o hasta triple circuito).

Los postes (apoyos) de las líneas de distribución son mucho más pequeños que las torretas de transporte, midiendo normalmente entre 8 y 12 metros de altura. En España se suelen utilizar los contruidos en celosía de metal que, al ser conductores, no tienen que llevar un cable de tierra para proteger de sobretensiones en la línea. En otros países, como Estados Unidos, Noruega o Suecia, donde la madera es abundante y barata, se construyen de este material. También se utiliza con relativa frecuencia el hormigón armado, aunque principalmente para el vástago, siendo en general las crucetas de metal, al menos en países como España.

## Impacto de los tendidos eléctricos

Los impactos potenciales de los tendidos eléctricos sobre el entorno son, al menos, de cuatro tipos: impacto en el paisaje, contaminación acústica y electromagnética, cambios en el hábitat e interacciones con la fauna.

Las líneas eléctricas aéreas son estructuras lineales y elevadas que pueden ser percibidas a gran distancia por un observador. Los tendidos que discurren por zonas boscosas lo hacen sobre pasillos desarbolados que acentúan su presencia y añaden líneas visuales que seccionan el paisaje. Se diferencian de las líneas naturales en que separan masas homogéneas y denotan por ello su carácter artificial. En tierra de labor o en



ambientes mediterráneos con arboledas de menor porte, no suele ser necesario hacer calles desarboladas, quedando el impacto visual restringido a la instalación eléctrica propiamente dicha. La ubicación de los apoyos, aún sin considerar ni su diseño ni los cables que los unen, plantea problemas paisajísticos importantes, dado que la estructura global del paisaje está influida por la presencia de elementos contrastantes, entendiéndose por tales los que destacan del resto y modifican la percepción. Una torreta eléctrica con forma simétrica y estructura geométrica, contrastará en un paisaje caracterizado por formas naturales asimétricas. También las torretas y líneas pueden convertirse en puntos de atención visual para el observador, transformando así un paisaje panorámico en un paisaje focal, donde postes y cables atraen fuertemente la mirada del observador.

En cualquier caso, dado el carácter de construcción cultural que tiene el paisaje, al menos en mi opinión, muy diferente de esa dimensión de recurso biológico que defienden algunos autores, la imagen final que tenga el observador dependerá de las cargas y connotaciones culturales que pesen sobre los objetos presentes en el paisaje observado. Curiosamente, o quizás no tanto, los tendidos eléctricos, particularmente los de distribución (tensiones menores de 45 kV), pasan desapercibidos para la mayor parte de los observadores. Hagan la prueba y pregunten a cualquier amigo, que no trabaje en una compañía eléctrica y que no viva en el casco urbano, si ve tendidos eléctricos en su camino diario al trabajo. La mayoría no sabrá qué responder porque simplemente no los vemos aunque estén ahí. Tengo para mí que, a pesar del tiempo transcurrido, las líneas de distribución tienen connotaciones culturales positivas para nosotros, relacionadas con la idea de progreso y crecimiento, propios de una sociedad moderna donde el ingenio y la capacidad humana se imponen sobre la implacable dureza de la naturaleza. Los tendidos significan para nosotros seguridad y confort. Considerados elementos necesarios, su presencia pasa desapercibida. Quizás por eso las líneas de transporte (tensiones mayores de 220 kV) sí que tienen muchos más detractores estéticos, porque no las percibimos como directamente vinculadas a nuestra seguridad y confort personal, por mucho que eso no tenga sentido desde el punto de vista del sistema eléctrico.

Otro de los impactos de las líneas eléctricas es la generación de campos electromagnéticos, que se extienden a partir de los conductores y que podrían afectar a las personas, animales y cosas. Las corrientes inducidas en objetos conductores, como automóviles o cercas de alambre, son causa de desagradables aunque inofensivas descargas para el que los toca. El posible efecto sobre la salud de la prolongada exposición a campos electromagnéticos sí que ha sido y sigue siendo motivo de preocupación pública. Algunos datos epidemiológicos de los años 70 indicaban que la exposición continuada a potentes campos experimentada por los trabajadores rusos de compañías eléctricas había tenido consecuencias medibles sobre su salud (Witwer et al. 1978). Por el contrario, Bridges y Preache (1981), en una amplia revisión del tema concluyen que no hay evidencias sólidas de ningún efecto inequívoco de los campos electromagnéticos en la salud humana. La Organización Mundial de la Salud publicó un documento en 1984 sobre el efecto de los campos eléctricos de baja frecuencia. En él se afirmaba que en los estudios médicos realizados sobre obreros expuestos a campos no se había encontrado efecto adverso alguno sobre su salud. En su opinión, no había razones para limitar el uso de zonas sometidas a campos inferiores a 10 kV/m, insistiendo no obstante en



la necesidad de continuar los estudios epidemiológicos. En otros animales, sin embargo, se han demostrado efectos de desorientación en aquellas especies que como las palomas o las abejas usan el campo magnético terrestre como sistema de orientación (Walcott 1974). No obstante, la intensidad de los campos electromagnéticos, como todos los campos, disminuye al cuadrado con la distancia. Eso hace que el campo que experimentamos cuando usamos una maquinilla de afeitar eléctrica sea mucho mayor que el que provoca una línea de 400 kV a la distancia a la que normalmente nos acercamos a ella.

Otro de los efectos de las líneas es el conocido como efecto corona. Este efecto es causado por la ionización de aire en el entorno de los conductores. La lluvia, niebla o nieve incrementan notablemente la magnitud del efecto corona. La polución atmosférica se debe a la formación de ozono ( $O_3$ ) y óxidos de nitrógeno ( $NO$ ,  $NO_2$ ). El ozono es un agente oxidante que filtra los rayos ultravioletas en las capas altas de la atmósfera. En la biosfera, donde resultaría tóxico para los seres vivos, se encuentra a muy baja densidad y un aumento local podría tener efectos negativos. Sin embargo, se ha calculado que una línea que transportase 750 kV funcionando con lluvia produciría del orden de 300 gramos de ozono por kilómetro de línea y hora (Gary 1979). Teniendo en cuenta la difusión del gas y su vida media, el valor es demasiado bajo para que pudiese representar ningún problema. El sonido asociado al efecto corona para una línea de 400 kV ronda los 40 dB, llegando a 65 dB los días lluviosos (una nevera doméstica produce 40 dB y una conversación entre dos personas 60 dB).

La construcción de la línea conlleva un impacto sobre el medio debido a la actuación de maquinaria pesada y la presencia de trabajadores, lo que puede llegar a ser grave dependiendo de la época del año y la cercanía de especies vulnerables. En zonas forestales, se tala el arbolado bajo las líneas y, dependiendo de la tensión y tipo de apoyo, se desbrozan franjas de 45 a 100 metros de ancho. Este tipo de actuaciones hace que la construcción de una línea a veces conlleve la destrucción del hábitat necesario para algunas especies, produciendo la fragmentación de sus poblaciones. Además, la presencia de líneas eléctricas aumenta el riesgo de incendios. Accidentalmente se pueden producir cortocircuitos y las chispas subsecuentes propagarse a la vegetación cercana. Solo durante el año 1984, se registraron 62 incendios forestales producidos por problemas en líneas eléctricas (Ministerio de Agricultura 1985).

## Interacciones con la fauna

Aunque todos estos impactos merecerían analizarse con mayor detalle, el objetivo de este libro está centrado en los efectos e interacciones de los seres vivos con los tendidos eléctricos. Los seres vivos establecen una estrecha relación con los tendidos eléctricos desde



la aparición de éstos. Al convertirse en elementos presentes en todo tipo de paisajes, los tendidos y sus apoyos (postes o torres) son utilizados por numerosas especies de aves como posaderos (puntos elevados desde los que se domina visualmente una amplia superficie de terreno), lugares de reposo e, incluso, como plataformas de nidificación. En algunos lugares, la progresiva transformación del medio natural ha supuesto la disminución en el número de soportes naturales en los que muchas aves desarrollan sus actividades: los árboles. Los apoyos de tendidos eléctricos se han convertido así en unos excelentes sustitutos. Esta presencia frecuente de aves en los tendidos suele ocasionar problemas a las instalaciones eléctricas, que no siempre son tenidos en consideración. También otros grupos taxonómicos utilizan con profusión los apoyos eléctricos: ciertas arañas proliferan enormemente entre la maraña de metal de sus vástagos; micromamíferos y reptiles que utilizan su base como refugio. Ciervos y gamos desmogan sus cuernas contra los postes y los zorros y otros carnívoros marcan sus territorios depositando excrementos en sus bases. Muchos reptiles, insectos e incluso mamíferos aprovechan otras instalaciones como las subestaciones para obtener calor y refugio, propiciando con ello incidencias en el servicio en muchas ocasiones.

Sin embargo, las consecuencias que las alteraciones humanas del paisaje pueden tener para la conservación de especies silvestres son a menudo insospechadas y dramáticas. Son probablemente las aves las que con mayor frecuencia y peor fortuna se relacionan con las líneas eléctricas. En el caso de las aves, los postes son usados como posaderos por infinidad de especies, nidificando en ellos desde cuervos y cernícalos hasta cigüeñas e incluso águilas imperiales. Pero probablemente, la relación más conocida de seres vivos con instalaciones eléctricas sea la mortalidad de aves por electrocución o colisión. Y es que las aves, protagonistas destacadas de la sensibilización de la sociedad por la conservación de la naturaleza, se ven afectadas directamente por el cableado aéreo del medio natural. Las cifras registradas de accidentes de aves en instalaciones eléctricas han generado preocupación en los agentes sociales públicos y privados relacionados con el transporte y distribución de energía o con la conservación de la naturaleza, así como en los investigadores. Numerosos trabajos científicos han puesto de manifiesto, desde hace años, que los accidentes en líneas eléctricas, colisión y electrocución, constituyen puntualmente una de las causas más importantes de mortalidad inducida por el hombre de algunas especies de aves y un motivo determinante de la reducción de sus poblaciones.

La relación de las aves con las líneas eléctricas ha sido documentada desde el inicio de la existencia de esta infraestructura (Hallinan 1922, Michener 1928). Los primeros estudios sobre estas interacciones se hicieron desde el punto de vista de los problemas que las aves pueden ocasionar al correcto suministro de energía (Turcek 1960). En general, cualquier uso intenso por parte de las aves de las estructuras eléctricas representa un peligro y, por lo tanto, desde el punto de vista de las compañías eléctricas y los consumidores es un inconveniente molesto. La naturaleza de esas molestias varía según el uso del que hablemos. Así, la nidificación provoca frecuentemente problemas en el servicio por derivaciones a tierra a través de la estructura del nido cuando éste termina por contactar con uno de los conductores. También las electrocuciones pueden provocar problemas de mantenimiento con sobretensiones que hacen saltar las protecciones de la línea o incluso ocasionando fuegos.



Como es sabido, existen dos tipos fundamentales de accidentes de aves en tendidos eléctricos: la electrocución en el poste y la colisión contra los cables. La electrocución se puede producir de dos formas; por contacto con dos conductores o, lo que es más frecuente, por contacto con un conductor y derivación a tierra a través del poste metálico, dejando en el ave las características marcas del paso de corriente (Haas 1980; Oledorff et al. 1981; Ferrer et al. 1991). Dadas las dimensiones de los apoyos, la separación de los conductores y la longitud de los aisladores, las electrocuciones sólo son frecuentes en líneas inferiores a los 45 kV. La muerte se suele producir por el paso de la corriente, aunque, en algunos casos en que la descarga no ha sido mortal, la muerte puede ocurrir por la caída del ave desde lo alto de la torreta (Haas 1980). Así pues, la electrocución es especialmente frecuente en aves de mediana-gran envergadura que usualmente se posan en los apoyos. Desgraciadamente, esta descripción corresponde de lleno a todo el grupo de las aves de presa, que además, son especies en general escasas y amenazadas de extinción muchas de ellas. El número de especies afectadas es siempre mayor en accidentes de colisión que en electrocuciones (Negro 1987). Los hábitos gregarios, vuelos crepusculares, reacciones de huida de los bandos, etc., hacen que las especies de patos, limícolas, avutardas, grullas, etc., se vean muy afectadas por las líneas eléctricas. La mayoría de las colisiones se producen contra el cable de tierra en las líneas de alta tensión. Parece que la mayor parte de las aves, en condiciones de baja visibilidad, detectan los conductores a poca distancia e intentan evitarlos sobrevolándolos, encontrándose entonces con el cable de tierra, con un grosor mucho menor y por tanto menos visible que los conductores. En algunos estudios concretos (Heijnis 1980, Beaulaurier 1981), hasta el 80% de las colisiones se produjeron contra el cable de tierra.

En bastantes casos, el ave no muere inmediatamente, cayendo a tierra a una distancia variable de la línea. En ocasiones sólo se produce la fractura de alguna extremidad, lo que permite al ave alejarse de los cables, habiéndose medido distanciamientos de más de 2 kilómetros en aves heridas a las que se equipaba con radioemisor (Heijnis 1980). Hay que señalar sin embargo que la colisión puede producirse indistintamente en líneas de transporte o de distribución, así como en líneas telefónicas (aunque con menor frecuencia, ya que estas últimas suelen ser muy visibles).

Curiosamente, la mayor parte de las personas creen que el único problema de las aves con los tendidos es la colisión o choque contra los conductores mientras vuelan. Supongo que esa creencia viene de la cotidiana experiencia que todos tenemos de ver aves posadas en los conductores, a veces en bandos muy numerosos, sin ningún daño aparente, olvidando que la electrocución sólo se puede dar si hay diferencia de tensión, o dicho de otra forma, sólo si el ave contacta con tierra o con otro conductor a la vez. Como veremos, esto es más frecuente de lo que muchos podrían pensar y, de hecho, son mucho mayores los problemas que causa la electrocución para la conservación de la avifauna que la colisión.

Este libro es para aquellos interesados en conocer, no sólo el problema concreto de los tendidos eléctricos y sus soluciones, sino el más general de si es posible o no modificar nuestras infraestructuras, causa común de impactos negativos sobre la biodiversidad, de





manera que sean compatibles con un ambiente sano, diverso y lleno de vida. Y si ello es posible, ¿cómo se consigue en el mundo real? En el verano de 1996, recién nombrado director de la Estación Biológica de Doñana nos visitó la flamante ministra de Medio Ambiente, Isabel Tocino, igualmente recién nombrada. Mientras veíamos una increíble puesta de sol frente a las famosas pajareras de Doñana, Isabel Tocino me trasladó su disgusto por unas declaraciones que días antes había hecho a la prensa. En ellas, me oponía a la construcción del embalse de Melonares sin que se hubiese resuelto el problema que, con toda certeza, iba a suponer para las águilas imperiales que habitaban la zona que se pretendía inundar. “Miguel”, me dijo, “si tenemos que elegir entre agua y águilas, ¿qué quieres que hagamos?”. “Bueno” dije yo, “si tengo que elegir, yo también me quedo con el agua, pero yo creo que lo que los ciudadanos quieren de nosotros, de ti y de mí, es agua y águilas. Es nuestro trabajo encontrar una solución para que eso sea posible”. Lo mismo pienso de los tendidos eléctricos.

Durante años me he enfrentado a las posiciones extremas de: “nosotros no queremos que mueran águilas pero necesitamos la energía, así que...”, o bien “hay que desmontar las líneas eléctricas e impedir que crucen ninguna zona con aves, tenemos que salvar las águilas aunque tengamos que renunciar a la energía fácil”. Yo sin embargo me lo planteo como un problema que, a priori, no tiene por qué no tener una solución: ¿y si fuera posible que haya tendidos y águilas? Ese planteamiento es el que he tratado de seguir durante toda mi actividad profesional. Entre otras cosas porque no creo en el “apartheid” como política de conservación de la biodiversidad. Lo que tenemos que hacer no es, en mi opinión, mantener al hombre y sus estructuras apartadas del resto del mundo, dividiendo el espacio en zonas donde viven muchas especies y otras donde sólo estemos nosotros. Lo que tenemos que hacer es conseguir que nuestras actividades e infraestructuras asociadas sean compatibles con la presencia y vida de otras muchas especies, incluyendo la nuestra. La creación de parques nacionales y reservas está muy bien, pero en el resto del territorio, la inmensa mayoría del planeta, debemos conseguir compartir nuestra vida con las demás especies. Este libro trata, con el ejemplo de los tendidos, de demostrar que sí puede haber soluciones.

A continuación repasaremos cómo se desarrolló esta historia de conflicto, colaboración y finalmente éxito, tanto en el ámbito mundial como en nuestro país. Aunque a algunos les pueda extrañar, dada la tendencia patria a considerarnos en general menos capaces que los demás países desarrollados del mundo, en este tema concreto, España ha tenido un papel de liderazgo mundial. Las investigaciones, avances y desarrollos legislativos españoles han sido seguidos por todos los países de nuestra órbita europea y por las compañías eléctricas e investigadores del resto del mundo.





## 2. Estados Unidos, Alemania, Holanda y otros países en los años 50-80

### La historia americana

Probablemente fuese en Estados Unidos de Norteamérica donde por primera vez fueron conscientes de las dimensiones inesperadas que ese desarrollo de líneas eléctricas, tanto de transporte como de distribución, podría tener para la avifauna. Algunas publicaciones en los años 50-70 empezaron a alertar de lo que más tarde se revelaría como uno de los mayores problemas de conservación para muchas especies de aves amenazadas que la actividad humana jamás había generado.

Los antecedentes habría que buscarlos en algunas publicaciones anteriores a los 70 (Hallinan 1922, Marshall 1940), donde se daba cuenta de las primeras electrocuciones de aves de presa en tendidos eléctricos. A.H. Benton en 1954 publicó un artículo en la revista “*Kingbird*” titulado “*Relationship of birds to power and communication lines*” en el que insistía en el hallazgo de aves electrocutadas bajo apoyos eléctricos. Estas primeras informaciones fueron ampliadas posteriormente por él mismo y otros autores (Benton y Dickinson 1966, Edwards 1969, Coon et al. 1970). Quizás fueran estos los primeros datos sobre electrocuciones de aves en instalaciones eléctricas publicados en EEUU.

En 1972, Richard R. Olendorff publicó un estudio titulado “*Eagles, sheeps and power lines*” que fue uno de los primeros avisos de la influencia de los tendidos de distribución en la supervivencia de rapaces de gran tamaño, concretamente en águilas reales en Colorado (USA). En este trabajo se describe el hallazgo de 17 águilas reales electrocutadas en tan sólo 5,6 km de tendido eléctrico en el noreste de Colorado. Poco después, estas primeras informaciones se vieron fuertemente refrendadas por los hallazgos de P.C. Benson (1977, 1980, 1981, 1982) en los que ponía de manifiesto el elevado impacto que la electrocución podría tener en la supervivencia del águila real, encontrando en una única revisión de líneas en Utah un total de 37 águilas electrocutadas. En un recorrido total de 192 km en seis diferentes estados del oeste, Benson encontró un total de 416 rapaces electrocutadas. En Utah, empleados del U.S. Fish and Wildlife Service recogieron 495 cadáveres de rapaces en 402 km de líneas. Hallazgos similares empezaron a realizarse por todo el país.

En 1975, se publica la primera versión de “*Suggested Practices for Raptor Protection on Power Lines*” (Miller et al. 1975) que marcó un hito relevante al condicionar el diseño futuro de apoyos a la seguridad para las aves. Desafortunadamente, las sugerencias reco-



gidas en esta primera versión demostraron en muchos casos no ser adecuadas, con lo que se impuso una segunda revisión del manual, actualizando información y reconsiderando las medidas de seguridad recomendadas en la primera versión.

Sin ninguna duda, fue la publicación de Olendorff, Miller y Lehman (1981) la que marcó un hito definitivo en la identificación del problema, su magnitud y la búsqueda de soluciones. El libro “*Suggested Practices for Raptor Protection on Power Lines—The State of the Art in 1981*” ha sido la referencia más utilizada no sólo en EEUU sino probablemente en todo el mundo sobre las interacciones aves-tendidos eléctricos. Este magnífico resumen de la situación en Norteamérica en 1981 iba acompañado de una serie de propuestas de actuación con el objetivo de corregir los apoyos con diseño peligroso para las aves, especialmente rapaces de gran tamaño. La aparición de esta revisión no sólo supuso disponer de gran cantidad de información fiable sino que puso de manifiesto el camino que la futura solución de este problema debería de seguir en el resto del mundo. En efecto, la fase de “denuncia” del problema por parte de biólogos, naturalistas y gestores dejó paso al trabajo en colaboración con los ingenieros de las compañías eléctricas para -juntos- buscar soluciones técnicamente viables. La financiación del trabajo por parte del Edison Electric Institute, y la colaboración en el mismo de diez compañías eléctricas así lo demuestran.

Tras la publicación de esta revisión, los trabajos y las denuncias de nuevos hallazgos siguieron apareciendo en EEUU, así como algunas imprecisiones en soluciones propuestas en esa versión. Todo ello propició la aparición en 1996 de una nueva revisión “*Suggested Practices for Raptor Protection on Power Lines—The State of the Art in 1996*”, financiada en esta ocasión por Edison Electric Institute y por Raptor Research Foundation. En esta -hasta ahora- última versión, se recopila la información existente tanto en EEUU como en otros países, actualizando el catálogo de soluciones posibles para apoyos peligrosos.

Esta última edición ha sido tan influyente como las anteriores, contribuyendo a la difusión del problema y sus posibles soluciones en todo el mundo. Pero precisamente su extendida influencia ha generado, sin quererlo, algunos problemas adicionales cuando sus sugerencias han sido aplicadas directamente en ambientes e instalaciones completamente diferentes de las originalmente estudiadas. Este fue el caso de la aplicación de medidas para evitar el contacto entre dos fases diseñadas para apoyos de madera directamente en postes de celosía de metal y, por tanto fuertemente conductores, donde la electrocución se producía principalmente por contacto con una sola fase y derivación a tierra (Negro y Ferrer 1995). Como se ha puesto de manifiesto en algunas publicaciones y veremos con mayor detenimiento más adelante, la utilización mayoritaria de apoyos de madera en EEUU, al igual que en otros países europeos como Noruega o Finlandia, hace que la derivación a tierra sea infrecuente. Los accidentes en este tipo de apoyos se producen más frecuentemente por contacto entre dos fases, lo que hace que sólo las aves de mayor envergadura puedan morir. En efecto, en postes de celosía de metal la mayor proporción de aves muertas corresponde a rapaces de mediano tamaño mientras que en postes de madera la mayor proporción de muertes se centra en aves de gran tamaño, como grandes águilas. Por estos motivos, hay que tener especial cuidado cuando las soluciones propuestas



para un tipo concreto de apoyo y de ave afectada se pretenden trasladar directamente a otro tipo de apoyo con otras especies de aves implicadas, ya que puede que no resulte ser ninguna solución (Ferrer et al. 1991).

A pesar de la publicación de las sucesivas ediciones del “*Suggested Practices for Raptor Protection on Power Lines*”, y de los esfuerzos por parte del sector eléctrico para corregir muchos de los tendidos, se continuaron registrando muertes por electrocución en la literatura norteamericana. El laboratorio Nacional de Sanidad de la Vida Silvestre de los Estados Unidos (1985) denunció que 130 (9,1%) de las 1429 águilas calvas muertas examinadas entre 1963 y 1984 se habían electrocutado. El cincuenta por ciento de las águilas examinadas murieron en los últimos seis años del periodo de muestreo (1978-1984), y la mayoría de los registros procedían del este de los Estados Unidos. En un resumen más reciente, el 12% de las muertes de águilas calvas por causa conocida se debían a la electrocución (Franson et al. 1995).

Desde 1981 se documentaron también las muertes por electrocución para otras especies amenazadas y en peligro de extinción, incluyendo el halcón peregrino y el cónedor de California. Además, al menos 11 especies de rapaces norteamericanas que no se habían registrado antes como víctimas de electrocución han sido añadidas a la lista de las especies vulnerables conocidas. El número de especies conocidas de búhos, vulnerables a la electrocución se ha incrementado en más de tres veces desde 1981. Durante los años ochenta y noventa, la electrocución de especies cuya vulnerabilidad era conocida desde 1981 también ha continuado, a veces en número alarmante. El ratonero peuco (*Parabuteo unicinctus*) parece electrocutarse en un número sorprendentemente elevado en algunas zonas del sudoeste del país. En un estudio de una población urbana de peucos en las proximidades de Tucson, Arizona, Dawson y Mannan (1994) hallaron que 112 (63%) de 177 muertes por causa conocida desde 1990 a 1993 se debían a la electrocución. La electrocución se producía típicamente en postes y transformadores cercanos a las casas. En la cuenca del Klamath, entre Oregón y California, se encontraron 66 águilas reales electrocutadas entre 1986 y 1992 y en Montana se confirmaron 32 águilas reales muertas entre 1980 y 1985 (O’Neil 1988). En Nebraska una cifra estimada de 500 rapaces, en su mayoría águilas, murieron por electrocución cada año durante un estudio de seis años (U.S. Fish and Wildlife Service 1988).

Aunque la electrocución de rapaces sigue siendo un problema, también es importante reconocer que se han hecho progresos en el esfuerzo para reducirla en Estados Unidos. Por ejemplo, muchas compañías eléctricas participan en programas de conservación de aves de presa (Blue 1996). En la actualidad, las medidas destinadas a proteger rapaces en tendidos eléctricos son obligatorias como parte de los requisitos de autorización y licencia de la mayoría de las agencias federales de EEUU. Por ejemplo, la Comisión Reguladora Federal de la Energía (FERC) incluye en sus licitaciones artículos concretos para que las instalaciones eléctricas estén dotadas de sistemas de protección para evitar las electrocuciones de aves.

La historia de los problemas de colisión de aves contra líneas eléctricas en EEUU ha seguido un camino paralelo a los accidentes de electrocución. En 1904, Emerson



informaba de colisiones de limícolas (pequeñas aves de fangos y orillas) contra una línea eléctrica que cruzaba una marisma salobre de la bahía de San Francisco. Si bien las primeras referencias del problema fueron anteriores a las publicadas para la electrocución, no fue hasta 1977 cuando Lee y Meyer, financiados por la Bonneville Power Administration desarrollaron y publicaron la primera referencia rigurosa del problema en EEUU. En estos trabajos no sólo describían cifras de mortalidad sino que proponían por vez primera la señalización de las líneas para disminuir accidentes e incluso sistemas tan novedosos en la época como el uso de cámaras térmicas para estudiar el paso nocturno de aves en el entorno de la línea.

En 1978 se organizó un congreso nacional sobre el problema (Avery 1978) en el que se trataron temas como el impacto de las colisiones contra líneas en poblaciones de aves, los sistemas de vuelo y el comportamiento migratorio en relación a la red de transporte o la disminución del impacto a través del diseño de líneas y el manejo del hábitat. Poco después se publicaba uno de los trabajos de referencia sobre los problemas de colisión (Beaulaurier 1981).

En 1989, tras una serie de reuniones nacionales se crea el Avian Power Line Interaction Committee (APLIC), con la participación de empresas del sector y entidades como la Matinal Audubon Society, con la intención de coordinar y financiar los estudios necesarios para solventar el problema (Brown y Drewien 1995). En 1992, la APLIC, en colaboración con la EPRI (Electric Power Research Institute) celebraron un congreso en Miami (APLIC y EPRI 1993).

En 1994 se publica la revisión “Mitigating Bird Collisions with Power Lines: The State of the Art in 1994” escrita por Brown, Gauthreaux y Miller para el APLIC, suponiendo al día de hoy la referencia más clásica del problema de las colisiones en EEUU.

## La historia africana

El único estudio detallado de colisiones en líneas eléctricas en África desarrollado con anterioridad a los años noventa (Longridge 1986) encontró una elevada mortalidad de dos especies de flamencos (13% del total de aves encontradas), gansos y anátidas en general en la zona húmeda conocida como Blesbokspruit. La colisión contra tendidos fue identificada como la causa de mortalidad no natural más importante para la grulla carunculada en Sudáfrica (McCann y Wilkins 1995). Incluso el ave nacional surafricana, la grulla azul, ha sido fuertemente afectada por esta nueva causa de mortalidad (Allan 1997), llegando a encontrarse 31 grullas azules muertas en un tramo de 10 km en un periodo de



5 meses. También la grulla coronada (5%) y las avutardas de Ludwing y la kori (21%) representaron fracciones significativas de las aves muertas por colisión (Allan 1997).

En Sudáfrica, los primeros datos sobre electrocuciones de aves se remontan al menos a 1970. Markus (1972) encontró 148 buitres del Cabo (*Gyps coprotheres*) electrocutados en una línea de simple circuito de 88 kV al este de la provincia del Cabo en un periodo de dos años. Cinco años después, más de 300 buitres habían muerto bajo esta misma línea (Ledger y Annegarn 1981). El buitre del Cabo es probablemente la rapaz que más víctimas por electrocución ha registrado en Sudáfrica y ahora está considerada como especie amenazada en ese país, siendo la electrocución, junto con otros factores, la principal causa de su declive (Ledger 1980). Además del buitre, otras grandes rapaces sufrieron importantes bajas causadas por las líneas eléctricas en los años 80, como la impresionante águila marcial (*Polemaetus bellicosus*) o la no menos espectacular águila de Verreaux (*Aquila verreauxii*). Estas especies son singularmente susceptibles a la electrocución en zonas rurales donde los tendidos de distribución llevan energía a pequeñas bombas de riego y otras instalaciones en granjas. También se sugirió que las líneas de distribución podían ser las principales responsables de la reducción de las poblaciones de alimoche (*Neophron pernopterus*) en este área (Nikolaus 1984). Desafortunadamente, dada la situación de crisis económica, política y social casi permanente en la que vive el continente africano, no se ha avanzado mucho en la solución de estos problemas ni parece que la avifauna vaya a ser una prioridad alta para los gestores de las líneas eléctricas africanas en el futuro, al menos cercano (Ledger et al. 1993).

## La historia europea

La importancia que para la conservación de las aves podía tener la mortalidad en tendidos eléctricos empezó a ser considerada en varios países europeos a finales de los años 70. Así Scott et al. (1972) en Reino Unido, Renssen (1975) en Holanda, Haas (1970) en Alemania y Bijjleveld y Goeldin (1976) en Francia fueron de los primeros autores en comunicar mortalidad de aves causada por electrocución o colisión.

Numerosos trabajos pondrían de manifiesto las proporciones alarmantes que, en determinadas condiciones, pueden alcanzar las mortandades ocasionadas por líneas eléctricas. A título de ejemplo citaremos 700 aves muertas por kilómetro de tendido y año en una zona húmeda de Holanda (Heijnis 1980), más de un millón de aves muertas al año en Francia (Faure 1988), más del millón de aves colisionadas al año en Holanda (Renssen 1975), 586 cigüeñas blancas muertas en Alemania Federal en los últimos 40



años (Fiedler y Wissner 1980), considerándose la mayor causa de mortalidad para esta especie en esos años. D. Haas identificó la existencia del problema de electrocución en Alemania, Suiza y España (Haas 1980) y Bevanger alertaba de la colisión de urogallos en Noruega (1988).

Desde entonces, el número de publicaciones sobre las interacciones entre aves y tendidos eléctricos ha crecido de forma intensa (Ferrer y Janss 1999). Los trabajos de D. Haas han seguido, culminando de momento con la publicación en 2005 del manual “Protecting Birds from Power Lines” editado por el Consejo de Europa como guía rápida de soluciones a los apoyos peligrosos. En Italia, V. Penteriani (1998) publicaba con la ayuda de WWF una revisión del problema de colisión y electrocución, aportando sugerencias de arreglos en apoyos y trazados, en la que fue, hasta donde llega nuestro conocimiento, la primera aportación relevante en Italia sobre este problema. Bevanger con trabajos en Noruega, Finlandia y Dinamarca continuaría haciendo aportaciones relevantes al problema, siendo uno de los pocos investigadores europeos que publicaba sus hallazgos en revistas científicas internacionales, asegurando por tanto la correcta difusión de los conocimientos (Bevanger 1994, 1995).

La situación actual en Europa es que, aún existiendo unas recomendaciones básicas del Consejo de Europa, las normativas de distintos países difieren enormemente, con algunas como España muy avanzadas y otras, típicamente en países del Este, inexistentes. Como veremos más adelante, es posiblemente un reto inmediato tratar de unificar normativas básicas al respecto.





## 3. La historia española

### Doñana y el águila imperial

Antes de 1977, algunas citas concretas de muertes en tendidos eléctricos de buitres negros en Extremadura o colisiones de avutardas en Castilla, habían sido ya publicadas en trabajos generales sobre las especies, pero la primera cita clásica en España sobre mortalidad de aves en instalaciones eléctricas es, sin ninguna duda, la de Jesús Garzón, que en el año 1977 en el congreso de la ICBP en Viena, presentó una comunicación sobre conservación de rapaces. En esta comunicación, J. Garzón decía que la electrocución podía ser una causa de mortalidad muy importante para rapaces de gran tamaño como el buitre negro, el búho real e incluso el águila imperial, suponiendo un grave problema de conservación.

Sin embargo, la verdadera historia del problema en España empezaría en Doñana en el verano de 1982, cuando el que escribe acababa de cumplir 20 años. Con esa edad, la temprana vocación que me había acompañado toda la vida ya me había llevado a las aulas de la facultad de Biología, donde cursaba mis estudios y me enfrentaba a la vida lleno de energía y determinación. Ya por entonces, mi amigo Manuel de la Riva y yo llevábamos dos años colaborando de forma voluntaria con la Estación Biológica de Doñana. Habíamos empezado dedicando el tiempo libre que nos dejaba el instituto en localizar y rescatar rapaces que, por diferentes motivos (expolios, hallazgos casuales, compra, etc.) llegaba a manos de particulares. Tratábamos de convencerles de que tener especies protegidas de forma ilegal era una práctica que debía erradicarse y les ofrecíamos la oportunidad y el privilegio de que “su rapaz” fuera recuperada y liberada en Doñana. Y debíamos ser convincentes, o muy pesados, porque el caso es que rescatábamos una notable cantidad de aves que llevábamos a la Estación Biológica de Doñana, y tras su recuperación, las trasladábamos al Parque Nacional.

Por esos años, la sede de la Estación Biológica estaba situada en un chalet del barrio de Heliópolis, en Sevilla. Este barrio, construido durante la exposición iberoamericana de 1929, se encontraba en la salida de Sevilla hacia Cádiz, cerca del estadio de fútbol del Betis, pero a pesar de esta cercanía a un símbolo de la ciudad parecía no pertenecer a su entorno. En medio de ese pequeño y caótico centro lleno de frenética actividad reinaba en aquel entonces el Dr. Javier Castroviejo, personaje intenso y desconcertante donde los hubiera pero con una indudable habilidad para contagiar, a todo el que se pusiera a su alcance, del entusiasmo por la naturaleza que a él mismo le devoraba. Nuestra constancia en las conspiraciones para el rescate de las aves de presa no pasó desapercibida a Castroviejo al que importunábamos cada vez que podíamos con dudas y propuestas y, por supuesto, nuevas aves de presa para liberar.



Dos años antes, en 1980, aunque yo entonces no lo sabía, J. Castroviejo había tenido la visita de dos investigadores alemanes, M. Essrich y I. Huttenlauch, que colaboraban con D. Haas en su esfuerzo por documentar el problema de los tendidos y las aves a escala europea. Para ello habían pedido al director de la Estación Biológica autorización para prospectar algunos apoyos al azar en el Parque Nacional. Javier Castroviejo se lo facilitó y estos dos investigadores le ofrecieron una gran cantidad de documentación que habían estado recogiendo sobre electrocución de aves en varios países europeos durante sus periplos. La información estaba obviamente en alemán, idioma que Javier Castroviejo dominaba a la perfección. Lo que leyó le llenó de preocupación: eran los primeros y alarmantes datos recogidos en nuestro continente, incluyendo algunos de nuestro propio país, sobre lo que sin duda era uno de los mayores problemas de conservación, al menos para algunas especies de aves. En un recorrido parcial del entorno del Parque Nacional de Doñana habían encontrado 87 aves muertas en 342 apoyos.

En la primavera de 1982, tuvo lugar un cambio de gran trascendencia para mí: mi familia accedió a comprarme una moto y con ello la impagable capacidad para moverme, no sin cierto peligro, a cualquier lugar donde fuese necesario. Con esta nueva arma, reuní el valor para pedirle una cita al director de la Estación Biológica y decirle que quería hacer algo más que traer aves recuperadas, quería ayudar en algún proyecto del CSIC porque soñaba con ser científico algún día, y que ahora, gracias a la moto podía moverme donde fuese. Javier, sin pensárselo un segundo me dijo que podíamos estudiar la mortalidad de aves en los tendidos eléctricos de Doñana. No nos pagaría la gasolina ni otros gastos, ni siquiera las bolsas de plástico que más tarde necesitaríamos a millares, pero nos daría los permisos necesarios y trabajaríamos para la Estación Biológica de Doñana. Nuestro sueño empezaba a parecer posible.

En aquellos años no existían Google Earth, mapas digitales ni GPS, así que con cartografía del ejército en la mano comenzamos a trazar las líneas eléctricas del entorno y del interior de Doñana para seleccionar qué tramos concretos íbamos a estudiar. Hasta entonces, como supongo que le ocurre hoy en día a la mayoría de las personas, yo nunca había reparado en la tupida tela de araña que suponen los tendidos eléctricos. En lugares con un elevado nivel de desarrollo, como España, es prácticamente imposible disfrutar de un paisaje sin la presencia de postes y cables. Curiosamente, como algunos de los efectos ópticos más conocidos, en los que hay dos siluetas escondidas pero sólo ves una u otra, no los vemos hasta que por algún motivo reparamos en ellos. A partir de ese momento, como si de una maldición se tratara, jamás podremos dejar de notar su presencia. Esa fue la nueva imagen de Doñana que se presentó ante nuestros ojos cuando los dos en la moto, con la cartera llena de mapas nos plantamos en el parque nacional. El incomprensible hecho de que Doñana estuviese plagada de tendidos resultaba hiriente. El reducto natural por excelencia de Europa, un mágico lugar lleno de vida, con habitantes tan sorprendentes y carismáticos como el lince ibérico o el águila imperial, el icono por definición de la defensa de la naturaleza en España estaba cubierto de cables y postes eléctricos sin que nadie pareciera darse cuenta de ello.



Durante una semana recorrimos a pie más de 130 km, registrando el trazado de las líneas así como el número de apoyos y su diseño. Cuando comenzamos a caminar bajo las líneas de poste en poste quiso el azar que lo hiciéramos bajo una línea de diseño no peligroso situada en una zona de cultivos cercana a Isla Mayor, a unos 10 km de los límites del parque. Los primeros dos días llegué a pensar que aquello no tenía demasiado futuro como investigación dada la afortunada ausencia de víctimas bajo los apoyos. El tercer día, tras una noche durmiendo bajo un gigantesco lentisco, entramos en una zona conocida como Matasgordas, ya dentro del parque nacional. Esta finca está situada en la zona de contacto entre las arenas y la marisma, es decir lo que los ecólogos llamamos ecotono, caracterizado por su altísima productividad biológica y por tanto con una elevada densidad de todo, incluyendo aves rapaces. Recuerdo que al amanecer, el mismo suelo parecía moverse bajo una increíble cantidad de conejos que corrían como arroyos por una pendiente, a refugiarse en sus madrigueras antes de que las águilas despertasen. El tendido que discurría por todo este ecotono con una longitud de unos 7 km estaba soportado por apoyos con aisladores rígidos. Comenzamos a recorrerlo pero, al poco, tuvimos que pararnos para intentar asumir el terrible espectáculo. En la base de cada apoyo, lo que poco antes habían sido magníficas aves de presa de vuelo majestuoso yacían ahora como grotescos amasijos de huesos y plumas levemente movidas por el viento. Los cadáveres lucían como trofeos de caza a los pies de un cazador necio y cruel. Donde menos, podían reconocerse dos rapaces muertas, en algún caso incluso más de diez bajo el mismo poste. Cadáveres de ratoneros, milanos negros, buitres leonados, águilas culebreras, calzadas, perdiceras y, lo más dramático, águilas imperiales sembraban de manera obscena el suelo de Doñana. Incluso ahora no dejo de ver esas imágenes. En aquel momento fuimos conscientes de la enormidad del problema que apenas comenzábamos a descubrir.

En las semanas siguientes, y completamente decididos a hacer lo que estuviera en nuestra mano para acabar con esa inaceptable situación, elegimos los tramos eléctricos cuya mortalidad seguiríamos durante un año completo. Para ello seleccionamos cuidadosamente una representación adecuada de cinco diferentes paisajes (carreteras/caminos, arrozales, marisma, cultivos de secano y dehesas de alcornoque/pino) así como la mayor variedad posible de diseño de apoyos y disposición de aisladores que clasificamos en seis variantes (tresbolillo suspendido, tresbolillo de amarre, tresbolillo con aislador rígido, montaje uno con aislador rígido, amarre de montaje uno y seccionador/transformador, ver figura 1). En la muestra seleccionada deberían estar representados todos los tipos de apoyos en todos los tipos de hábitats. Finalmente elegimos 1.127 apoyos distribuidos en 100 km de líneas de 16-22kV en la periferia y el interior del Parque Nacional. La zona elegida se encontraba al norte de las marismas del Guadalquivir, entre Isla Mayor y la aldea de El Rocío. Las líneas eran de simple circuito y los apoyos de celosía de metal, con alturas comprendidas entre 8 y 12 metros. Solamente el 41% de los postes se encontraban dentro de los límites del Parque: los que cruzaban la zona conocida como Coto del Rey, el lucio de Mari Lope y el muro de la FAO, estando los demás situados al norte de dicho muro (figura 2).



Figura 1. Tipos de apoyos de distribución (13-25 kV) más frecuentemente utilizados en España.

**Apoyos de alineación**



Tresbolillo aisladores suspendidos



Tresbolillo aisladores rígidos



Bóveda aisladores suspendidos

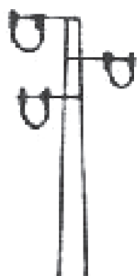


Montaje uno

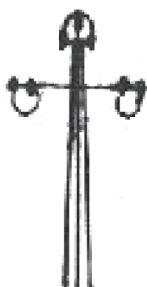


Montaje cero

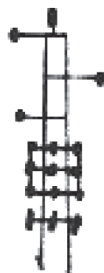
**Apoyos de anclaje (aisladores de amarre) Seccionador transformador**



Tresbolillo puentes flojos bajo cruceta



Montaje uno puente central sobre cruceta



Seccionador en vástago



Figura 2. Esquema de las líneas eléctricas estudiadas en Doñana en 1982-1983. Afortunadamente estas líneas desaparecerían en su mayoría a partir de 1987.



Era hora de ponernos a trabajar. Durante un año completo recorrimos las líneas seleccionadas una vez al mes con la intención de detectar posibles variaciones estacionales en la mortalidad así como obtener una muestra suficientemente grande para detectar zonas realmente peligrosas y proponer en su caso su modificación. Al comienzo del estudio realizamos un recorrido de limpieza de restos anteriores. Consideramos siempre el menor número de aves posibles en función de los restos encontrados en cada apoyo. Los recorridos posteriores se hicieron también a pie, en algunos tramos cada mes y en otros cada dos meses. Se retiraron todos los cadáveres y restos encontrados para evitar un doble registro así como para determinar con mayor precisión, mediante colecciones de comparación, la especie, edad y sexo de las víctimas. Todas las aves encontradas bajo los apoyos que presentaban señales de quemaduras en alas o patas eran clasificadas como electrocutadas, mientras que las que se encontraban bajo los vanos se consideraban colisionadas.



Cada fin de semana andábamos bajo las líneas entre 10 y 20 kilómetros cada uno de nosotros y volvíamos a casa con unas enormes bolsas de cadáveres atadas al trasportín de la moto. En esas caminatas, pronto nos dimos cuenta de que las aves electrocutadas desaparecían con frecuencia, retiradas por los carroñeros. Resultaba fácil detectar restos de plumas del dorso de las víctimas aún pegadas al suelo y ningún resto más. Era incluso frecuente encontrarse con algún zorro por la mañana temprano que recorría la línea con la misma intención que nosotros, recoger los cadáveres, sólo que él lo hacía para comérselos. Decidimos entonces, que si queríamos tener una idea aproximada de la mortalidad real debíamos estimar de alguna manera el ritmo de desaparición de cadáveres. Utilizando 25 conejos de granja así como 40 de las propias aves accidentadas, hicimos un experimento de velocidad de pérdida, lo que nos permitiría estimar la proporción de víctimas que recogíamos en función del tiempo transcurrido entre recorridos.

Una vez terminamos el trabajo de campo, en otoño de 1983, nos pusimos a analizar los resultados con el mayor detalle posible. Para ello, le pedimos a Castroviejo un lugar en la Estación Biológica donde pudiésemos trabajar. Todo lo que nos permitió fue usar una de las jaulas exteriores, que estaba detrás del chalet principal de la EBD y que normalmente servía para alojar a buitres leonados que eran mantenidos temporalmente allí hasta que se enviaban a la Reserva en Doñana. Nos pusieron una bombilla para que pudiésemos trabajar también de noche y Manuel y yo recorrimos algunos vertederos hasta encontrar dos cajones y una puerta de madera que, a modo de mesa, colocamos en el centro de la jaula. Durante cuatro o cinco meses volvimos a abrir una por una todas las bolsas recogidas, identificando con la mayor precisión posible la especie, edad y sexo de los ejemplares. Hicimos nuestra propia colección de comparación limpiando los cadáveres de ejemplares fácilmente identificables de más de 50 especies y quedándonos con los huesos para poder determinar los restos más dudosos.

Los resultados obtenidos tras un año de seguimiento de los 100 km seleccionados se presentan en la tabla 1. El total de víctimas recogidas fue de 930, de las cuales 778 corresponden a las muertas durante el año de estudio y el resto al recorrido inicial de limpieza. Se identificaron 55 especies afectadas, 54 especies de aves y un mamífero (gineta). Entre las víctimas anuales se recolectaron 10 especies de aves de presa con un total de 142 ejemplares (el 20,6% del total), de los que cabe destacar 5 buitres leonados, 1 águila imperial, 1 águila culebrera, 66 milanos negros y 30 ratoneros, además de la que fue la primera cita de azor en el Parque Nacional. Las rapaces nocturnas representaron el 1,16% con tres especies, siendo la lechuza común la más afectada con 5 víctimas. Otras especies destacables son 52 cuervos, 6 cigüeñas, 79 garcillas bueyeras, 84 gansos y 163 patos. En el caso de las rapaces diurnas, la causa mayoritaria de muerte fue la electrocución “fase-tierra”, tan sólo 4 de ellas murieron por colisión contra los cables (el 2,8% del total de rapaces). Parecía, pues, que no era la colisión un factor importante de mortalidad para este grupo. No obstante, es posible que se subestimara esta causa de mortalidad pues el método empleado sólo nos permitía examinar una franja de unos 12 metros a cada lado de los cables y es probable que las posibles víctimas de colisión muriesen más lejos. En cualquier caso, la mortalidad por colisión en rapaces es incomparablemente menos importante que la electrocución. En semejante situación se encuentran los cuervos, cigüeñas,



garcillas y otras muchas especies. No es así sin embargo en el caso de limícolas y, sobre todo, patos y gansos ni los passeriformes de pequeño tamaño que mueren casi todos por choque contra los conductores eléctricos.

**Tabla 1. Aves recogidas muertas en los 1.127 postes eléctricos estudiados en Doñana en el periodo 1982-1983**

Especie	Total	Anual
Buitre leonado	14	5
Águila imperial	3	1
Águila culebrera	8	1
Águila calzada	9	4
Milano negro	15	12
Milano real	82	66
Ratonero	35	30
Azor	1	1
Cernícalo vulgar	10	9
Halcón peregrino	1	1
Milano sp.	36	3
Falconiforme sp.	7	0
Cárabo	3	2
Lechuza común	7	5
Mochuelo	1	1
Cuervo	70	52
Corvidae sp.	23	23
Cigüeña blanca	34	6
Espátula	3	3
Flamenco	3	3
Garcilla bueyera	82	79
Ardeidae sp.	15	15
Anser sp.	88	84
Anas sp.	168	163
Larus sp.	53	53
Caradriformes sp.	77	77
Rallidae sp.	25	25
Paiño sp.	3	3
Ganga	6	6
Faisan	3	3
Coraciiformes sp.	3	3
Passeriformes sp.	38	38
Gineta	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>930</b>	<b>778</b>



Los experimentos de pérdida de cadáveres demostraron que los cadáveres desaparecían según una función logarítmica del tiempo transcurrido. Así pues, si recorriamos el tendido cada 30 días, recogeríamos un porcentaje muy bajo de las víctimas de día uno, un porcentaje mayor de las del día dos y así sucesivamente hasta el 100% de las caídas el día 30. Ponderando los recorridos realizados cada 30 días y los de 60 días, obteníamos una pérdida de cadáveres estimada del 70%. Obviamente el ritmo de pérdida depende de varios factores entre los que destaca el peso y tamaño del ejemplar. Existe de hecho una relación inversa entre la tasa de pérdida y el tamaño, como se pone de manifiesto al observar la relación de los restos recogidos en el recorrido inicial de limpieza con los resultados anuales para las mismas especies. Así, mientras en el recorrido inicial las grandes rapaces suponen el 28,5% del total de rapaces, en el seguimiento anual representan tan sólo un 5,6%.

Sobre las especies que retiran los cadáveres de las líneas pudimos afirmar que participaron al menos los zorros, águilas imperiales, buitres leonados, cuervos y milanos. Algunos de éstos actúan con mucha rapidez como pudimos comprobar cuando presenciábamos la electrocución de un cuervo y, mientras nos acercábamos al apoyo para recoger a la víctima, otro cuervo le había devorado medio tórax antes de que llegásemos a él. Es curioso señalar que la ginetta se electrocutó en un apoyo en el que, en su parte superior, había un milano negro electrocutado aparentemente con anterioridad.

Asumiendo las estimas de pérdida podemos suponer que el número real de víctimas en esos 100 km de líneas podría superar las 2.000 aves anuales, aproximándose las rapaces a las 400 víctimas y, dentro de ellas, los milanos a los 200 por año. Si tenemos en cuenta que había por aquel entonces unos 300 km de tendidos eléctricos de similares características en el entorno de Doñana, las muertes anuales de aves posiblemente se acercasen a las 6.000.

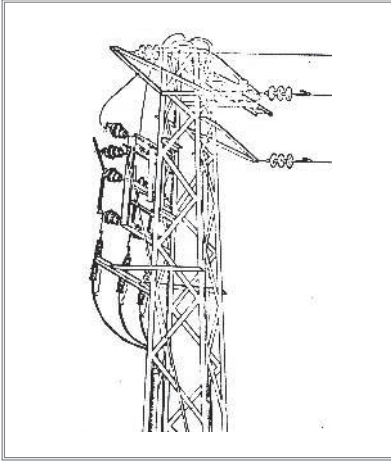
De los cinco tipos de apoyos estudiados (figura 3), tres de alineación, dos de anclaje y el tipo seccionador-transformador, fue el apoyo de anclaje del montaje uno, con aisladores de amarre y el puente flojo central por encima de la cruceta, el que resultó ser más peligroso. En este tipo de apoyos la mortalidad anual estimada es de 0,65 rapaces por apoyo. Estos apoyos representan el 6% del total. El seccionador (figura 3 a) resultó el segundo más peligroso con una mortalidad de 0,246 rapaces por poste y año. Aquí también se encontró la mayor diversidad de tamaños en las víctimas, desde un estornino electrocutado (21,5 cm) hasta una cigüeña (101 cm). Estos apoyos afortunadamente suponían sólo el 5% de los apoyos estudiados.

El tercer diseño más peligroso correspondió al apoyo al tresbolillo con aisladores rígidos (figura 3 b), con una mortalidad de 0,202 rapaces por poste y año, seguido por el montaje uno con aislador rígido (0,168 rapaces por poste y año) (figura 3 c) y finalmente las líneas con diseño al tresbolillo y aisladores suspendidos (figura 3 d) resultaron las menos peligrosas tanto en su apoyo de anclaje (aisladores de amarre con puentes flojos por debajo del travesaño, con una tasa de 0,049 rapaces por poste y año) como en los de alineación, con una mortalidad de rapaces por poste y año de 0,027, es decir 24 veces menos peligroso que el primero de la lista.

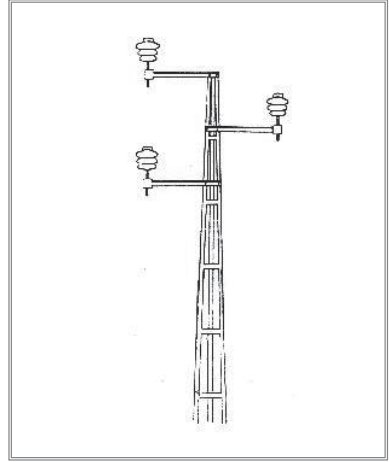




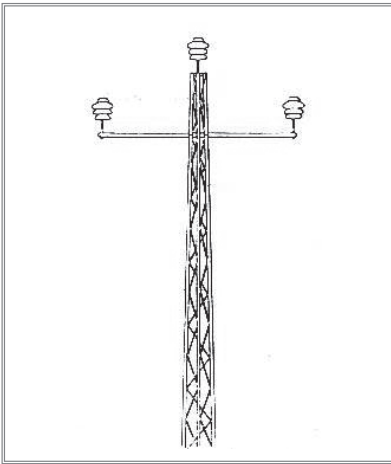
Figura 3. Tipos de apoyos en los que estudiamos la mortalidad de aves en Doñana.



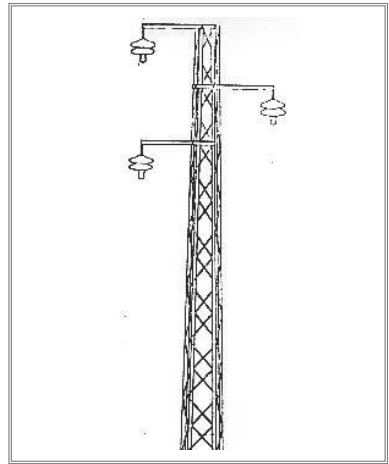
**3 a. Apoyo de fin de línea con seccionador de corte al aire situado en el vástago.** Los puentes son flojos necesariamente por encima del travesaño, al estar el seccionador y el transformador en el lado del apoyo donde no hay catenarias. En este tipo de poste se registró una mortalidad de 0,246 rapaces por poste y año.



**3 b. Apoyo de alineación al tresbolillo con aisladores rígidos.** Esta configuración era la que tenían los postes en la línea de Matagordas y que producían el 45% de las electrocuciones totales en el estudio de Doñana con una mortalidad de 0,202 rapaces por poste y año.



**3 c. Apoyo de alineación con montaje uno y aisladores rígidos.** En este diseño la fase central se encuentra situada en el centro de la línea y apoyada en aislador rígido sobre el vástago. Resultó ser uno de los peores diseños para las aves con una mortalidad de 0,168 rapaces por poste y año.



**3 d. Apoyo de alineación tipo tresbolillo con aisladores suspendidos.** Esta configuración resultaría ser la más segura de las que había en líneas eléctricas en Doñana con una mortalidad de rapaces por poste y año de 0,027, es decir 24 veces menos peligroso que el primero de la lista. Resultaría más tarde el diseño recomendado en los decretos de protección de aves.



En lo que se refiere al paisaje y su efecto en la mortalidad, los resultados demostraron claramente una influencia muy importante siendo las líneas situadas junto a caminos o carreteras 10 veces más seguras que las situadas en dehesas con el mismo tipo de apoyo. En general, los paisajes más transformados revestían menos peligros que los paisajes más naturales como la marisma o los bosques adeshados.

En cuanto a colisión, aunque el estudio estaba más enfocado a la electrocución, se registraron 315 aves acuáticas de las que la mayoría eran gansos y patos. Estas mortalidades se producían sobre todo en un tendido de apenas 9 km situado en el conocido como Lucio de Mari Lope, lugar de excepcional concentración de aves acuáticas, especialmente durante el invierno. La mortalidad por colisión estaba muy relacionada con los niveles de agua en la zona y las precipitaciones.

Además del diseño del poste y del tipo de paisaje, existen otros factores relacionados con la frecuencia de las muertes en tendidos eléctricos: factores climáticos, etológicos y dependientes de la orientación de la línea. Entre los factores climáticos hay que destacar las precipitaciones. Evidentemente, para tener una idea exacta de la importancia de la lluvia en la electrocución, el estudio debería haberse diseñado especialmente. En cualquier caso hay una serie de consideraciones que se pueden hacer. En general la pluma es un buen aislante, siempre que esté seca. La conductividad de la pluma crece al aumentar la humedad relativa (aunque también depende de factores como la concentración de sales, etc.) y, por supuesto, con la lluvia. También en los días lluviosos la visibilidad disminuye aumentando el riesgo de colisión contra los conductores. El viento puede ser también un factor de riesgo, ya que hace más difícil el control del vuelo y obliga a maniobras de equilibrio a las aves que están posadas. Tratándose de un poste eléctrico esto puede ser peligroso al obligar a abrir las alas más a menudo, haciendo así posible el contacto con el cable.

Asimismo, determinadas conductas pueden favorecer la electrocución o colisión de aves. Por ejemplo en época de celo no es difícil observar peleas en los posaderos, intentando expulsar a un congénere. Esto también obliga a maniobras que pueden favorecer el contacto con una fase. Así, se recogieron milanos negros electrocutados aún trabados entre sí por las garras. La relación de pareja también puede facilitar los accidentes tanto al aumentar la frecuencia de utilización conjunta del mismo apoyo como incluso durante las cópulas, en las que batir alas es frecuente. Mayor peligro reviste la tendencia de algunas aves de hacer uso social del posadero. Las garcillas bueyeras, que gustan de posarse juntas, morían electrocutadas habitualmente en grupos de 4 a 7 ejemplares. El uso de los postes para olearse o tomar el sol, con las alas extendidas como lo hacen los milanos o los buitres, incrementa notablemente el riesgo de contacto con un conductor. También utilizar los apoyos como lugar para despedazar y comer una presa facilita los accidentes, como el caso de un milano negro que se electrocutó a través de la pata de una cigüeñuela que estaba comiéndose. La nidificación en postes es otro comportamiento que contribuye a aumentar los riesgos de electrocución. Aunque en este estudio la nidificación era escasa, con sólo dos nidos de cuervos, en ambos casos los inquilinos pagaron su tributo con al menos una víctima por nido.



Los vuelos en bandadas densas y los vuelos de huida facilitan la posibilidad de colisión contra los cables. También la orientación de la línea puede influir en ese riesgo. En el caso de la marisma de Mari Lope, el tramo de tendido con un trazado que interceptaba la línea de vuelo entre dos lagunas tenía una mortandad mucho mayor que el tramo que discurría paralelo a esa línea de alta intensidad de vuelos.

Otro factor que influye de manera muy considerable es la existencia de postes muy usados por reunir una serie de características atractivas para un ave de presa. Si a esto se une un diseño peligroso del apoyo, estos postes se convierten en puntos de acumulación de muertes. Puede suceder cuando una línea atraviesa la zona de contacto entre diferentes biotopos, donde la diversidad y densidad de presas es alta. En esos casos, los postes se convierten en oteaderos muy utilizados y la mortalidad puede ser espectacular. En un sólo poste con estas características se encontraron 16 víctimas, 15 aves de presa y una gineta. En otro apoyo con similares características murieron a lo largo de un único año 5 milanos negros, 1 ratonero, 2 águilas calzadas, 2 buitres leonados y 1 águila imperial.

En el caso de las aves de presa, la edad de los ejemplares se pudo determinar en 115 de las 142 muertas durante el año de seguimiento. Aparecieron dos patrones claramente distintos: las especies migratorias, con la mayoría de víctimas de edad adulta, y las especies sedentarias, en las que los jóvenes constituyen la mayor parte de las muertes. La ausencia de los jóvenes, que en las especies migratorias no retornan hasta que están cerca de la madurez sexual, explica estas diferencias.

**Tabla 2. Recuperaciones de anillas de rapaces en Doñana y su entorno desde 1974 a 1985, excluyendo las que nosotros mismo recogimos en los tendidos eléctricos. La electrocución era casi la mitad de las causas de muerte.**

Especie	Electrocución	Otras
Águila imperial	9	12
Milano negro	8	6
Milano real	0	1
Ratonero	3	2
Águila calzada	1	1
Cernícalo vulgar	0	3
Halcón peregrino	0	1
Águila culebrera	2	0
Lechuza común	1	0
Mochuelo	0	1
Cárabo	0	2
<b>TOTALES</b>	<b>24</b>	<b>29</b>

De acuerdo con el tamaño de la población nidificante en la zona, estimamos que, por ejemplo en el caso del milano negro, la mortalidad en tendidos eléctricos podría



suponer la pérdida del 12,5% de los adultos reproductores, lo que era sin la menor duda un impacto inasumible, capaz de provocar el descenso de la especie en Doñana. De la misma manera, estimamos un 10% de mortalidad en águilas calzadas, un 18% en ratoneros, un 6,5% en águilas culebreras. Estas cifras por sí solas ponen de manifiesto el importante impacto sobre las poblaciones de estas especies protegidas que los tendidos eléctricos tenían en esa época.

Otra forma de aproximarnos al efecto real de la mortalidad en líneas eléctricas sobre la supervivencia de las rapaces en Doñana fue analizar las recuperaciones de anillas (Tabla 2). Para ello se analizaron las recuperaciones de rapaces anilladas en el área de Doñana desde 1974 a 1985, excluyendo las aportadas por nosotros durante el seguimiento de los tendidos. En total, 53 aves anilladas habían sido halladas muertas durante ese periodo. De ellas casi la mitad (45,3%) había muerto por electrocución en los tendidos eléctricos. De nuevo, estos resultados ponían en evidencia que los tendidos eran sin duda una gravísima agresión a las rapaces en Doñana.

El águila imperial era en aquella época, y lo sigue siendo hoy, una especie muy amenazada. En 1981 su población mundial, toda ella en España, se estimaba en poco más de 100 parejas. De ellas, 15-16 habitaban las marismas y cotos del parque nacional de Doñana, siendo la población de mayor densidad de la especie en el mundo. Era obvio que determinar el efecto de la mortalidad ocasionada por los tendidos en esta rapaz era particularmente importante para nosotros. Tanto los restos recogidos, como la mortalidad anual indicaban que, en efecto, el águila imperial era una de las más afectadas pero necesitábamos saber cuánto y de qué forma eso aumentaba su riesgo de extinción.

A partir de la información de los diarios de guardas y naturalistas en la Estación Biológica de Doñana recopilamos las muertes ocurridas en esta especie desde 1974. De un total de 25 muertes de las que había registro, 13 de ellas fueron provocadas por la electrocución en apoyos de distribución, revelándose como la causa mayoritaria de muerte de águilas imperiales en Doñana con un 52% de las muertes. La edad de las víctimas resultó la esperable en una especie sedentaria; un 27,3% de las águilas electrocutadas eran adultas y el 72,7% jóvenes e inmaduros. Si tenemos en cuenta que la proporción de inmaduros respecto del total de águilas imperiales que se observan en la población de Doñana es del 14,3%, resulta clara la mayor susceptibilidad de los inmaduros a la electrocución. La población de águilas del parque de Doñana, a partir de 1979, empezó a manifestar síntomas preocupantes que evidenciaban dificultades para el propio automantenimiento. Así, comenzaron a ser frecuentes las parejas de reproductores con algún miembro con plumaje juvenil, y se registraron demoras de más de un año en la sustitución de un miembro desaparecido de una pareja (Ferrer y Calderón, 1990). Estos abrumadores datos de mortalidad indicaban que la electrocución en sí misma podía acabar con la población de águilas de Doñana y probablemente estuviese ocurriendo lo mismo en otras poblaciones de la especie, sólo que no había nadie más que nosotros recorriendo tendidos y por tanto nadie lo sabía. La mayor parte de los naturalistas y biólogos seguían sin ver los tendidos eléctricos por mucho que estuviesen llenando los paisajes, incluso de parques nacionales como Doñana, con su peligrosa presencia.



A principios de 1984 nuestro trabajo estaba acabado. Hicimos un informe para J. Castroviejo que él utilizaría en las reuniones del patronato de Doñana para advertir del problema y presionar para su solución. En ese informe no sólo se describía la gravedad de la mortalidad por tendidos, también se incluían varias alternativas para eliminar el problema, especialmente aquellas actuaciones que consistían en desmontar líneas innecesarias que duplicaban circuitos, y cuyo desmontaje reduciría en más de la mitad las muertes. Castroviejo decía que quería publicar ese informe en forma de monografía pero eso jamás ocurrió. Los datos del informe, sin embargo fueron presentados en congresos nacionales e internacionales (Ferrer et al. 1986, Ferrer et al. 1987), así como en prensa de divulgación especializada (Ferrer et al. 1986, Ferrer et al. 1987, Ferrer y de la Riva 1987, Calderón et al. 1988, Ferrer 1988, Ferrer y De le Court 1988). Pero no sería hasta 1991 y, haciendo sólo referencia a la mortalidad en aves de presa, cuando vio la luz en una revista científica de ámbito internacional, pues por entonces yo ya estaba convencido de que la monografía que Javier decía querer hacer nunca sería publicada.

## Doñana sin tendidos eléctricos

Después de nuestro trabajo en Doñana las cosas empezaron a moverse. Por su parte, J. Castroviejo utilizó nuestra información para denunciar en el órgano de gobierno del parque nacional, el patronato, la muerte de aves, especialmente de águilas imperiales, en tendidos eléctricos. Yo no supe hasta ese momento que, en realidad, gran parte de los tendidos peligrosos que estaban dentro de Doñana habían sido construidos por el ICONA (Instituto para la Conservación de la Naturaleza, organismo autónomo dependiente del Ministerio de Agricultura y que gestionaba los parques nacionales), lo que claramente les colocaba en una situación incómoda. Los acontecimientos que siguieron se entienden sólo en el marco del permanente conflicto que por aquel entonces se vivía entre los científicos (EBD, CSIC) y los conservadores (ICONA).

En 1984, la Estación Biológica organizó las primeras Jornadas sobre Investigación en el Parque Nacional de Doñana, en las que Manuel y yo expusimos los resultados de nuestro trabajo. Sin que tuviésemos oportunidad de sugerir nada, y en contra de las recomendaciones que habíamos hecho en nuestro estudio, el ICONA decidió que iba a proteger los tendidos de su propiedad siguiendo las recomendaciones que habían aparecido en la publicación de Olendorff, Miller y Lehman “*Suggested Practices for Raptor Protection on Power Lines—The State of the Art in 1981*”, y así lo hizo. Personalmente, tenía mis dudas sobre la eficacia del método dado que la colo-



cación de posaderos para evitar el contacto de grandes rapaces con los conductores se había sugerido para postes de madera en los que la electrocución de rapaces medianas era prácticamente inexistente, siendo el accidente habitual en este tipo de poste el contacto con dos fases. Sabíamos, sin embargo, que ésta no era la situación en líneas eléctricas construidas con apoyos de celosía de metal, como era el caso de España, donde las electrocuciones se producían mayoritariamente por contacto con una fase y derivación a tierra. En cualquier caso, fuera cual fuera nuestra intuición, lo que sí teníamos muy claro es que la eficacia de las medidas de corrección debía ser comprobada. El problema era muy grave y teníamos que aprender cómo corregirlo.

Diseñamos un seguimiento basado en la experiencia anterior incluyendo postes modificados y no modificados para poder valorar la posible reducción de muertes. El proyecto era sencillo y de bajo coste pero nosotros seguíamos sin conseguir que ni Castroviejo ni nadie nos ayudara con ningún gasto. Con el proyecto en la mano me entrevisté con el entonces director del Parque Nacional con la intención de que apoyase el proyecto y, si era posible, nos ayudase con los modestos gastos que, para nosotros, eran enormes. La reunión tuvo lugar en las dependencias del ICONA en Sevilla, en unos despachos que parecían extraídos de la novela “*El Proceso*” de Kafka. El director del parque, después de escucharme con cierta impaciencia me dijo: “el ICONA no financia investigaciones, y si lo hiciéramos sería con alguien como Ramón Margalef (reputadísimo limnólogo español) y no con estudiantes como vosotros”. Cuando abandoné el despacho tuve más claro que nunca que íbamos a hacer ese seguimiento, aunque de nuevo nos costara el dinero que no teníamos.

A Javier Castroviejo se le ocurrió que para presionar al ICONA y que arreglase correctamente los tendidos era buena idea presentar una queja a la entonces Comunidad Económica Europea, en la que habíamos ingresado como país no hacía mucho. Me encargó que me enterase del procedimiento y la escribiese yo. Así lo hice, y una vez terminada decidió que la presentaría un grupo ecologista muy afín a él y cuyo representante principal frecuentaba en aquel entonces la Estación Biológica. No muchos años más tarde, ese procedimiento que yo les había enseñado lo utilizaría ese mismo grupo ecologista para denunciarme a mí por colocar emisores en águilas imperiales.

A finales de 1984, y otra vez sin financiación, comenzamos un nuevo seguimiento anual de la línea “protegida” por el ICONA así como de otros tramos no transformados que servirían como control. Al haberse deteriorado la relación con los gestores del parque, este segundo estudio fue un poco más incómodo que el primero. Cada vez que hacíamos la revisión de la línea eléctrica propiedad del parque, nos esperaba un guarda con órdenes de pedirnos el carné de identidad y denunciarnos por transitar por la zona sin permiso. Nosotros le enseñábamos la autorización de la Estación Biológica y le dábamos una fotocopia del carné que nos veíamos obligados a llevar por decenas. Nunca llegaron a denunciarnos, pero poco después los guardas recibieron instrucciones de retirar los cadáveres antes de que nosotros pasáramos. Afortunadamente, la guardería de la zona, al igual que nosotros, estaba más interesada



en que se arreglase el problema que en verse envueltos en disputas políticas, así que retiraban los cadáveres pero nos los daban a nosotros con indicación del poste exacto donde lo habían recogido. Los resultados fueron contundentes: no hubo ninguna reducción de mortalidad en los postes protegidos. De hecho incluso murieron algunas aves más de las esperadas aunque no fue estadísticamente significativo (tabla 1). En 1985, dos águilas imperiales adultas morirían electrocutadas en los postes protegidos por el ICONA.

**Tabla 1. Resultado de las “protecciones” instaladas por el ICONA en el parque nacional de Doñana. Como se ve en la tabla, no hubo la menor variación de la mortalidad tras la colocación de posaderos metálicos en punta del vástago de los apoyos por parte de la dirección del parque nacional.**

Postes	Año	Rapaces	Otras aves
Sin protección	1982	3	5
Sin protección	1984	9	4
Con protección	1985	9	6

En 1986 presentamos los resultados de todos estos trabajos en el Congreso Internacional de Rapaces Mediterráneas que se celebró en Évora, Portugal. También empezaron a aparecer artículos en revistas de divulgación especializadas que pusieron en conocimiento de naturalistas y ecologistas españoles y extranjeros el problema que habíamos identificado en Doñana (Ferrer et al. 1986, 1987, Ferrer y De la Riva 1987, Ferrer 1988, Ferrer y De le Court 1988). Javier Castroviejo exigió que incluyéramos su nombre como coautor en todos los artículos porque, según decía, sin él no habría biblioteca en la Estación Biológica y no podríamos trabajar. De la misma manera, cuando algunas revistas de divulgación pagaron por nuestros artículos, él se quedó con la parte que le correspondía del escaso dinero conseguido. Afortunadamente, esta difusión junto con noticias en prensa generalista así como en televisión terminaron de preparar el ambiente para que afrontar soluciones fuese posible.

Este mismo año comencé mi tesis doctoral estudiando la dispersión juvenil del águila imperial ibérica de Doñana. Para ello, colocaba emisores solares de cinco años de duración en las jóvenes águilas cuando aún estaban en el nido (con unos 45-55 días de vida). Estos dispositivos emitían una señal en VHF que, en condiciones óptimas podía recibirse hasta 70 km de distancia y fuertemente direccional. Con ello podía seguir los movimientos de las jóvenes águilas y averiguar dónde y cómo pasaban su juventud hasta que las supervivientes se integraran en alguna pareja reproductora. Por supuesto, estos emisores me iban a proporcionar también una preciosa información sobre causas de muerte de la especie, con un método no sesgado, es decir un método donde



la probabilidad de encontrar el cadáver no dependía de la causa de muerte. Esto era muy importante pues parecía obvio que al centrar nuestra atención recorriendo líneas eléctricas podíamos estar sobrevalorando esta causa de muerte frente a otras que eran más impredecibles en su localización como disparos, venenos, etc. En 1986 equipamos 8 jóvenes águilas con emisores. De ellas, 3 morirían electrocutadas antes de cumplir un año en los tendidos de Doñana y su entorno.

A finales de 1986, Manuel y yo seguíamos recorriendo las líneas del parque. En uno de los recorridos mensuales me acompañó la que entonces era mi novia, Ester. En los primeros postes de Matasgordas encontramos un águila imperial electrocutada. Era una preciosa hembra de tres años, con el plumaje juvenil ya salpicado de plumas negras de adulto, lo que llamamos “damero”. Debía haber muerto apenas unos minutos antes de que pasáramos por allí. Todavía estaba caliente y con los ojos abiertos. El hallazgo nos produjo una profunda tristeza; era el águila número 13 que recogíamos electrocutada desde que empezamos los estudios y nada parecía cambiar. Ester, como respuesta a mis lamentos me dijo “si tú eres el que sabes que esto está pasando y no haces nada para cambiarlo, ¿quién crees que lo hará?” A partir de ese momento, conseguir que los tendidos eléctricos desaparecieran de Doñana se convirtió en mi objetivo personal. La mañana siguiente llamé a la compañía eléctrica (Sevillana de Electricidad por aquel entonces) y le dije al responsable de relaciones institucionales, F. Rubiales, al que aún no conocía personalmente, que, como sin duda sabía por la prensa, teníamos al presidente de gobierno, Felipe González, como invitado en la Reserva Biológica de Doñana. Que, mientras dábamos una vuelta por Doñana, habíamos visto juntos como otra águila imperial se electrocutaba en una línea que era innecesaria, en la que ya habían muerto tres águilas en los últimos meses y que o ellos hacían algo, o lo haríamos nosotros. La mañana siguiente, tres responsables de la compañía eléctrica me esperaban en el centro de recepción del parque para visitar la línea conmigo. El día 21 de enero de 1987 se desconectaba ese tramo en concreto, con lo que conseguíamos reducir un 45% la mortalidad de rapaces en Doñana. Por supuesto, Felipe González nunca supo nada de todo esto.

Este fue el primer triunfo en la lucha por acabar con este problema, y no sólo por la desconexión de ese tramo peligroso sino porque supuso el comienzo de la colaboración con la compañía eléctrica, lo que sería fundamental para avanzar. En efecto, Sevillana de Electricidad (en adelante Sevillana) no sólo desconectó la línea sino que antes de retirar los apoyos definitivamente nos permitió ensayar prototipos de protección en la línea sin tensión. Nuestro objetivo era comprobar si podíamos modificar el uso del poste que hacían las rapaces utilizando posaderos, disuasores de posada o una combinación de ambos (Negro et al. 1988, Regidor et al. 1988). Habíamos pasado del conflicto a la colaboración.

La elevada mortalidad de águilas imperiales, junto con la falta de eficacia de los posaderos colocados y la desconexión que había realizado Sevillana, terminaron por convencer a los gestores del parque de la necesidad de eliminar los tendidos eléctricos de Doñana. Así, con la ayuda de Rafael Cadenas y Manolo Mañez, se encargó un proyecto de ingeniería para aplicar las recomendaciones de nuestro trabajo inicial, construyendo un pequeño tramo de línea eléctrica de cable aislado y trenzado (donde la electrocución no es posible) que permitió desmontar 29 km aproximadamente de tendidos conven-





Cartas cruzadas entre Sevillana de Electricidad y la Estación Biológica de Doñana donde queda patente el inicio de la colaboración en los trabajos de tendidos eléctricos.

COMPañIA SEVILLANA DE ELECTRICIDAD  
EL DIRECTOR GENERAL

Sevilla, 28 de Enero 1987

Sr. D. J. Castroviejo  
Director de la Estación Biológica de Doñana  
SEVILLA

Muy Sr. mío:

Como Ud. conoce, llevamos varios días en contacto con esa Estación Biológica a través de D. Miguel Ferrer, en orden al estudio de las causas que motivan la electrocución de aves en varias líneas eléctricas existentes.

Conjuntamente, hemos visitado la Zona, y hemos podido comprobar que la mayor mortandad se ha producido por electrocución de aves en un trozo de una línea de 15 kV construida en su día por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y de su propiedad. Dicha línea, mediante los seccionamientos oportunos, ha sido puesta fuera de servicio la pasada semana, lo que, además de quitar el peligro de electrocución, nos va a permitir hacer diversas investigaciones orientadas a la protección de las aves.

También hemos mantenido reunión conjunta con ICONA. A este organismo le vamos a facilitar una nueva tecnología y asesoramiento sobre líneas aéreas para que construya un trozo de línea aérea que, además de permitir desmontar una línea existente clásica, nos sirva de experimentación de la nueva línea tanto para la seguridad de las aves como de la propia línea.

En la próxima semana, iniciaremos de acuerdo con su Sr. Ferrer las primeras experiencias, instalando en la línea propiedad de la FAO dispositivos protectores para, posteriormente, analizar el comportamiento de las aves. Dicho comportamiento nos orientará en las futuras experiencias a realizar.

Estamos muy interesados y complacidos en colaborar con esa Estación Biológica en orden a hacer compatible la obligada existencia de líneas eléctricas y reducir la mortandad de aves que a causa de las mismas se puedan provocar.

Me es muy grato saludarle cordialmente.

- Enrique Navarrete Fernández -

MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS



DIRECTOR

ESTACION BIOLÓGICA DE DOÑANA

ADQUIRIDA CON LA CONTRIBUCION DEL  
WORLD WILDLIFE FUND

PABELLÓN DEL PERÚ  
Avda. María Luisa s/n. - Teléf. (954) 232340  
41013 SEVILLA (ESPAÑA)

Sevilla a 4 de febrero, 1987

Sr. D. Enrique Navarrete Fernández  
Director General  
Compañía Sevillana de Electricidad  
Avda. de la Borbolla  
41013 SEVILLA

Muy Sr. mío:

Deseo agradecer su carta del 28 de enero al tiempo que expreso mi satisfacción y alegría por la positiva labor que están realizando para aminorar el tremendo impacto de las instalaciones eléctricas en las aves del Parque y su entorno.

Saben que esta tarea cuenta con nuestra colaboración entusiasta; estoy seguro que su actitud será reconocida, asimismo, por el Patronato.

La información reunida en Doñana nos da una idea de lo que puede estar sucediendo en los tendidos eléctricos de otras partes de Andalucía y España. Así parece necesario que con la mayor urgencia se inicien investigaciones rigurosas al respecto, a fin de buscar soluciones a este problema, cuya gravedad no se le oculta a nadie.

Reiterándole mi gratitud, queda a su disposición.

Dr. Javier Castroviejo



cionales y reducir la mortalidad un 75%. Eso, unido a la adecuada protección de los tendidos que permanecían, convirtió la electrocución de rapaces en Doñana en un mal recuerdo del pasado. Por fin, a finales de 1987 Doñana se liberaba para siempre del corsé eléctrico que tantas víctimas había ocasionado.

Con esa transformación, los problemas de electrocución en el núcleo reproductor quedaban prácticamente solucionados. Los resultados de estas acciones fueron espectaculares. La supervivencia durante los primeros seis meses de vida de las jóvenes águilas imperiales pasó del 17.6% en los años 1986 y 1987 al 80% en 1988 y 1989 (Ferrer e Hiraldo, 1991). La eliminación de los tendidos peligrosos en Doñana ha sido sin duda la medida más eficaz que se ha adoptado para la conservación de la especie desde la declaración de Doñana como espacio protegido.

## Águilas imperiales y líneas eléctricas fuera de Doñana

En 1987, continuábamos colocando emisores de radio en los jóvenes de águila imperial de Doñana para estudiar su dispersión juvenil. Los tendidos del Parque Nacional se estaban corrigiendo pero aún así, de ocho águilas marcadas ese año, dos morirían electrocutadas. Las investigaciones de la dispersión juvenil del águila imperial pondrían de manifiesto la existencia de importantes problemas de mortalidad por electrocución en las áreas de dispersión (Calderón et al. 1988, Ferrer 1990). El águila imperial comienza su vida reproductiva al quinto año de vida. Durante esos cinco años de inmadurez, su vida transcurre fuera del Parque Nacional de Doñana, en unas áreas de dispersión juvenil situadas entre 90 y 150 km de distancia (Ferrer 1992a, 1992b, 1993a, 1993b, 1993c, 1993d). Gracias al estudio de la dispersión, se pudo delimitar con precisión cuáles eran esas áreas. Las jóvenes águilas nos iban enseñando en sus desplazamientos algunos de los más increíbles espacios de Andalucía. Fincas privadas en su mayoría, que atesoraban una riqueza y diversidad de especies que nunca hubiésemos imaginado. Entre ellas destacaba la finca de Las Lomas, en Vejer de la Frontera, Cádiz. Esta enorme finca estaba situada en lo que antaño era la laguna de la Janda, y, a pesar de la desecación de la misma, seguía conservando unos valores ambientales extraordinarios. Era uno de los lugares favoritos para las jóvenes águilas de Doñana, que la visitaban con más frecuencia que cualquier otro lugar (Ferrer 1993c, 1993d). También, desgraciadamente estaba cubierta de líneas eléctricas, como todos los paisajes rurales de España y, por tanto, llena de trampas mortales dispuestas a saltar en cuanto un águila se posase en ellas.



En el otoño de 1987 me encontraba siguiendo una de ellas que una vez más había elegido Las Lomas para pasar unos días durante su dispersión. A mediodía, estaba parado al lado del camino de entrada a la finca, mirando por el telescopio a la joven águila que se había posado en un gigantesco acebuche a unos 300 metros de mí. En ese momento, de reojo vi cómo pasaba un Land Rover corto de la Guardia Civil. Inmediatamente se encendieron las luces de parada y el vehículo puso marcha atrás hasta quedar a mi altura. Tal y como me imaginaba, la pareja de guardias se bajó y dirigiéndose a mí, uno de ellos me preguntó: “Buenas tardes, ¿qué estamos haciendo por aquí?”. Así que les expliqué que estaba estudiando dónde iban las águilas cuando dejaban Doñana, que les poníamos unos pequeños emisores de radio para poder seguirlos y que, desgraciadamente, se mataban muy a menudo en tendidos eléctricos durante sus excursiones fuera del parque. El hombre, conmovido con aquello me dijo: “¡Qué pena de animales!, y ¿ustedes no han pensado en poner una red muy grande por encima de Doñana para que las águilas no se puedan escapar?” Para no dejarle en evidencia, no se me ocurrió nada mejor que decirle: “Sí, lo hemos pensado. Lo que pasa es que si ponemos la red, los gansos, que vienen en invierno de Suecia no podrían entrar”. Volviéndose hacia su compañero le dijo “¿ves, coño?, ¡lo que es el no saber!”. Muchas veces me acordaría de la razón que tenía ese guardia civil, no faltarían oportunidades de comprobar “lo que es el no saber” en la conservación de especies amenazadas. No pasaría mucho tiempo antes de que una joven águila de las marcadas en Doñana muriera electrocutada en Las Lomas. Era imprescindible seguir trabajando con los tendidos, pero ahora fuera de Doñana.

Con la ayuda de Ramón C. Soriguer, investigador de la Estación Biológica y amigo, conocí al dueño de la finca, José Ramón Mora Figueroa. Era ya un hombre mayor cuando me recibió en su despacho. Por entonces ya había visitado a muchos propietarios de fincas que las águilas utilizaban durante la dispersión y estaba acostumbrado a encontrar despachos con muchas cuernas de ciervo y pocos libros. Estaba de moda, al parecer la Enciclopedia de Andalucía, que solía compartir estantes con otros escasos libros ordenados aparentemente por su formato y color. El despacho de J. Ramón estaba repleto de libros escritos en varios idiomas y que, ordenados por temas, llenaban generosas estanterías. Le conté qué me traía por su finca y quiso saber más sobre las águilas y nuestro trabajo. Me dijo que había sido cazador por medio mundo, y de ahí la colección de trofeos que abarrotaba la antesala del despacho, pero que después de muchos años había llegado a la conclusión de que si seguíamos por ese camino, la naturaleza, tal y como él la había conocido, desaparecería. Por eso, había decidido algunos años antes que en Las Lomas no se iba a cazar más, salvo en aquellas necesidades sociales inexcusables. Había declarado reserva amplias zonas del antiguo borde lagunar, y era en ellas donde las jóvenes imperiales, perdiceras, reales y otras muchas especies encontraban alimento y cobijo durante su juventud. Solicité su permiso para poder entrar a seguir a las águilas y a recorrer los tendidos. Él, no sólo me autorizó, sino que puso los medios de la finca a nuestra disposición, incluyendo la ayuda de la guardería, el uso de sus vehículos todo-terreno así como alojamiento cuando fue necesario.

En agosto de 1987, de nuevo con Manuel de la Riva, comenzamos un recorrido por las líneas eléctricas de Las Lomas. Hasta febrero de 1988 recorrimos 587 apoyos. La longitud total de las líneas era de aproximadamente 52 km. En total encontramos 362



víctimas, 361 aves y una gineta (tabla 1). De las aves destacaban 4 águilas imperiales, 12 azores, 15 águilas perdiceras y 45 ratoneros. A esto hay que sumar un águila imperial más, cuya anilla fue remitida a la Estación Biológica de Doñana en 1980. De las 361 aves, 324 habían muerto por electrocución y sólo 37 por colisión. No obstante, dado que el método empleado era similar al del estudio hecho en Doñana, es posible que la colisión estuviese infravalorada en estos datos. En cualquier caso, la mortalidad estaba muy concentrada, como ya habíamos visto en Doñana, estando todas las víctimas en tan sólo 57 de los 587 postes (9,7%). También se puso de manifiesto que la electrocución era la principal causa de muerte para las rapaces, siendo la colisión muy poco frecuente. De las rapaces recogidas todas eran jóvenes menos dos de los 46 ratoneros, dos de los 12 azores y dos de los 5 milanos negros que resultaron ser adultos. Entre las rapaces nocturnas recogimos 2 búhos reales.

Este tercer estudio sobre tendidos eléctricos, que realizamos en Las Lomas, fue el primero en el que conseguimos una ayuda económica para sufragar parte de los gastos por parte de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Ello fue posible gracias fundamentalmente a Rosario Pinto, funcionaria de la Consejería y una persona especialmente sensible al problema y que, años más tarde, llegaría a ocupar una dirección general en ese organismo.

Los resultados de estos recorridos, junto con las sugerencias de modificaciones de los apoyos para evitar los accidentes, se los entregué personalmente a D. José Ramón, que se quedó realmente conmovido por la elevadísima mortalidad de rapaces que estaban ocasionando los tendidos eléctricos de su finca. Apenas un mes más tarde, me convocó a una reunión en su despacho junto con una consultora de ingeniería para que supervisase el proyecto que les había encargado de remodelación de las líneas eléctricas de Las Lomas para evitar la muerte de aves. Sólo tres meses después, las líneas eléctricas habían sido transformadas. Los apoyos de montaje uno con aisladores rígidos habían desaparecido siendo sustituidos todos por apoyos con disposición al tresbolillo y aisladores suspendidos. Los puentes flojos por encima de travesaños fueron también eliminados y todos los transformadores se protegieron mediante cables secos con bornas enchufables. La enorme mortalidad de aves por electrocución en la finca de Las Lomas pasó a ser un desagradable recuerdo del pasado. Todos los gastos de proyectos y ejecución de obras los sufragó D. José Ramón Mora Figueroa. Años antes de que apareciera el primer decreto de protección de aves en instalaciones eléctricas, él voluntariamente había hecho una de las contribuciones particulares más generosas que yo conozca para ayudar a la supervivencia de las águilas imperiales. Y desde luego lo consiguió. Años más tarde tuve la fortuna de poder contribuir al reconocimiento de la labor desinteresada de los Mora Figueroa a favor del águila imperial. Desgraciadamente, José Ramón había fallecido, pero sus hijos Fernando y Ramón pudieron recoger el merecido premio Fungesma a la Conservación de la Naturaleza en su nombre. Bastantes años después, la familia Mora Figueroa volvería a tener un papel fundamental en la historia del águila imperial, cediéndonos el uso de su finca para convertir en realidad un viejo sueño: que las águilas imperiales volvieran a reinar en los cielos de Cádiz. Y de nuevo con su ayuda conseguiríamos que volvieran a nacer pollos en lo que había sido en el pasado uno de sus más importantes bastiones: la laguna de Janda.



**Tabla 1. Víctimas encontradas en 587 postes de tendidos eléctricos de distribución en la finca Las Lomas, en Vejer de la Frontera en 1987-88.**

Especie	Electrocución	Colisión	Total
Garcilla bueyera	2	1	3
Cigüeña común	3	1	4
Pato real	0	2	2
Cerceta pardilla	1	0	1
Anade sp.	0	1	1
Águila imperial	4	0	4
Alimoche	1	0	1
Ratonero	44	1	45
Águila perdicera	15	0	15
Águila calzada	2	0	2
Milano negro	5	0	5
Milano real	1	0	1
Milano sp.	5	0	5
Águila culebrera	1	0	1
Azor	11	1	12
Cernícalo vulgar	3	0	3
Rapaces sp.	6	0	6
Faisán	4	6	10
Perdiz	0	2	2
Codorniz	0	1	1
Polla de agua	0	3	3
Chorlito dorado	0	3	3
Avefría	0	2	2
Gaviota reidora	1	0	1
Aguja colinegra	0	2	2
Paloma torcaz	13	4	17
Tórtola	1	1	2
Búho real	2	0	3
Cárabo	1	0	1
Curruca mosquitera	0	2	2
Zorzal	0	1	1
Estornino negro	1	0	1
Grajilla	188	1	189
Cuervo	4	0	4
Paseriformes sp.	3	2	5
Ave sin determ.	2	0	2
Gineta	1	0	1
<b>TOTALES</b>	<b>325</b>	<b>37</b>	<b>362</b>



Cuando la noticia de la elevada mortalidad de aves en la Janda fue conocida, algún colega científico me dijo que eso de que la Janda era un sumidero de rapaces ellos ya lo sabían desde hacía mucho tiempo. Yo no pude evitar acordarme de la reflexión de Ester, y preguntar por qué entonces no habían hecho nada por evitarlo. Por supuesto la esquivada respuesta es siempre la misma: que es imposible hacer nada, que nadie hace caso de estas cosas. Sin embargo, mi absoluto convencimiento de lo contrario nos había llevado a la desaparición de los tendidos aéreos en Doñana y la protección de Las Lomas hasta ahora, y todavía nos llevaría mucho más lejos. Aprendí entonces que cuando alguien dice que una cosa es imposible, en muchas ocasiones te está diciendo que no tiene el valor de intentarlo.

A principios de 1989 tenía muy claro que lo que habíamos encontrado en Doñana y en la Janda debía estar ocurriendo en todas las áreas utilizadas por el águila imperial. Resultaba también evidente la imposibilidad de la transformación de todos los tendidos eléctricos en líneas con cable aislado y trenzado como se había hecho en Doñana, o en conducciones soterradas. Aunque algunos apoyos habían sido claramente identificados como peligrosos y en breve su utilización sería prohibida, existían miles de kilómetros de tendidos de distribución en Andalucía que podían estar afectando seriamente a las aves de presa, y en especial al águila imperial. Afortunadamente, por lo que ya sabíamos, la mortalidad por electrocución no se distribuía de forma homogénea por el territorio, sino que tendía a estar muy concentrada en relativamente pocos apoyos. Eso significa que unos pocos postes (aquellos con diseño peligroso en zonas de alta densidad de rapaces) concentran la mayor parte de las muertes, por tanto, con la adecuada protección de una pequeña fracción de los apoyos se podría conseguir una reducción muy significativa de la mortalidad total. El problema fundamental se situaba en la localización de esos puntos de acumulación. Decidí por tanto que era una prioridad recorrer las líneas eléctricas de las áreas de dispersión juvenil que habíamos ido conociendo gracias al seguimiento de los ejemplares marcados y que ya nos había avisado de la extensión del problema con algunos ejemplares electrocutados en la sierra de Huelva, y tratar de localizar las acumulaciones de muertes.

A finales de 1989 se produjo un importante cambio en la Estación Biológica. J. Castroviejo dejaría, no sin conflictos, de ser director, entrando a sustituirle Miguel Delibes. En ese momento yo estaba en mi tercer año de tesis doctoral y quien figuraba como director de la misma era Castroviejo, que desapareció tras dejar su cargo, con lo que me quedé sin contrato y sin nadie que firmase los papeles necesarios para la universidad. Poco antes había tenido mis primeros contactos con Fernando Hiraldo, científico del CSIC adscrito por entonces al Museo de Ciencias Naturales de Madrid, y especialista en aves de presa. Hiraldo quería trasladarse a la Estación Biológica desde hacía años, pero Castroviejo, de quien era acérrimo enemigo, no lo autorizaba. Con un nuevo director en la Estación, su traslado se hizo posible. Yo le había contado unos años antes a Hiraldo que mi tesis pretendía conocer las causas y características de la dispersión juvenil del águila imperial. Su respuesta fue que eso no tenía el menor interés científico y que no se podía hacer una tesis doctoral con ello. Ante la desaparición de mi anterior director, fui a hablar con Delibes para



que me aconsejase qué podía hacer para terminar mi tesis doctoral. Delibes me aconsejó que fuese recogiendo mis cosas y abandonase la Estación Biológica. Me di cuenta entonces de una práctica desgraciadamente habitual en la investigación española, intentar acabar con tus enemigos persiguiendo a sus alumnos.

Fue en esta época cuando conocí personalmente a Fernando Rubiales, José Antonio Martínez y Fernando Manzanares de Sevillana-Endesa. Ellos jugaron un papel fundamental para establecer la necesaria colaboración entre biólogos investigadores e ingenieros de la compañía eléctrica que la resolución de este tipo de problemas exigía. Fernando Manzanares tuvo la visión de futuro que hizo posible el primer convenio de colaboración formal entre Sevillana, Consejería de Medio Ambiente y Consejo Superior de Investigaciones Científicas para la reducción de la mortalidad por electrocución del águila imperial. Con este convenio podía además terminar mi tesis doctoral. La existencia del convenio y, sobre todo de su financiación, hizo que Fernando Hiraldo cambiara curiosamente su opinión científica sobre mis trabajos y se convirtiera en mi nuevo director de tesis doctoral, con ello Delibes decidió que yo podía permanecer en la Estación Biológica.

Así, durante 1990 Sevillana financió un estudio para la localización de zonas de acumulación de mortalidad en las áreas de dispersión que fue realizado por la Estación Biológica de Doñana (CSIC). Para ello, se determinaron las áreas de dispersión juvenil de la especie en base al radio seguimiento de 32 jóvenes águilas marcadas en sus nidos de Doñana durante los años 1986 al 1989. Estas águilas fueron equipadas con emisores solares fijados al dorso de las aves con un arnés. El seguimiento se realizó tanto desde tierra, en vehículo todo terreno, como desde el aire, con la colaboración del Ejército del Aire, con el que volábamos dos veces por semana en avionetas patrullando toda el área de dispersión. Durante el seguimiento se pudo comprobar que, dentro de las áreas de dispersión, que incluían amplias zonas de Cádiz, Sevilla y Huelva, se encontraban unas zonas intensamente usadas de pequeña extensión, que bautizamos como zonas de asentamiento temporal (Ferrer 1993a, 1993b, 1993c, 1993d). Estas zonas de asentamiento temporal recogen a más del 80% de los jóvenes y son utilizadas, de forma rotativa durante todo el año. Las mismas zonas fueron usadas durante los cuatro años del estudio por diferentes jóvenes (Ferrer 1993c).

Era en las zonas de asentamiento temporal donde se producían la mayoría de las electrocuciones de águilas inmaduras (aún sin el característico plumaje adulto, es decir de menos de 5 años de edad) fuera del Parque Nacional de Doñana. Por ello, el objetivo era localizar las zonas de acumulación de mortalidad por electrocución en esas áreas, con la intención de acometer de forma efectiva la modificación de los apoyos peligrosos y por tanto la disminución de la mortalidad juvenil en la especie. Para ello, recorrimos a pie 4.119 apoyos, pertenecientes sobre todo a líneas de distribución de segunda y tercera categoría, con tensiones nominales de 15-45 kV. No todas ellas eran propiedad de Sevillana, también las había particulares y propiedad de la diputación provincial. En





este caso, y teniendo en cuenta que ya sabíamos que los puntos de acumulación podían detectarse con certeza en un sólo recorrido, el método consistió en recorrer una sola vez a pie los aproximadamente 500 km de líneas. También se realizaron 106 horas de censos de rapaces para tener una estima de la densidad relativa entre zonas, así como recoger información del uso de los postes que hacían las rapaces, y en qué partes concretas del apoyo les gustaba posarse con mayor frecuencia.

**Tabla 2. Víctimas recogidas en 4.119 apoyos de distribución situados en las áreas de asentamiento temporal durante la dispersión juvenil del águila imperial en Cádiz y Huelva.**

Especie	Víctimas
Águila imperial	3
Azor	3
Buitre negro	1
Ratonero	126
Águila culebrera	9
Falco sp.	4
Cernícalo vulgar	9
Buitre leonado	4
Águila perdicera	17
Milvus sp.	10
Milano negro	25
Milano real	21
Falconiforme sp.	1
Mochuelo	2
Búho real	5
Cárabo	7
Lechuza	2
Garza real	1
Garcilla bueyera	9
Cuco	1
Cigüeña blanca	9
Paloma torcaz	2
Columba sp.	1
Cuervo	78
Grajilla	92
Pito real	2
Gineta	1
indeterminado	8
<b>TOTAL</b>	<b>453</b>

En total, se recogieron 453 cadáveres de 24 especies diferente, 249 de esos cadáveres fueron aves de presa de 14 especies, entre ellas tres águilas imperiales jóvenes (tabla 2 Cepeda et al., 1990). No sólo predominaron las aves de presa en el número de



especies sino también en el número de ejemplares electrocutados, siendo el 55% del total de víctimas. Además de las ya mencionadas águilas imperiales, dentro de las aves de presa habría que destacar las 17 águilas perdiceras y los 126 ratoneros. Teniendo en cuenta el tamaño de la población nacional de águilas perdiceras, estos resultados, junto con los ya obtenidos en la Janda, apuntaban con claridad a la electrocución como una causa de muerte de extrema importancia no sólo para las águilas imperiales, también para la perdicera. Destacaron en los resultados, como en los estudios anteriores, el elevado número de cuervos encontrados, en este caso 78 muertos.

Como en otros estudios (Ferrer et al., 1991), en este caso se demostró que los factores fundamentales que determinan la distribución de muertes por electrocución son el diseño de los postes y el hábitat donde se ubica. El diseño del poste tiene una influencia estadísticamente muy significativa sobre la distribución de la mortalidad, siendo de nuevo los más peligrosos aquellos que poseen puentes flojos por encima de los travesaños, seguidos por los postes con aisladores rígidos y, a continuación, los apoyos con aisladores de amarre. Los aisladores suspendidos resultaron ser nuevamente los más seguros de los habitualmente usados por las compañías eléctricas, particularmente el diseño al tresbolillo (Ferrer et al., 1991). La distribución de víctimas se demostró de nuevo tendente al contagio, con un 80% de los cadáveres en menos del 20% de los apoyos.

Desde que empezamos a estudiar la dispersión, habíamos localizado ya 4 jóvenes águilas imperiales electrocutadas en el área de dispersión de Huelva (Villanueva de los Castillejos) y 6 en Cádiz (entorno de la Janda). Esta elevada mortalidad podía suponer un impacto insuperable para la especie. Por este motivo, decidí analizar los resultados de la mortalidad registrada para la especie en la población de Doñana, revisando toda la información disponible en diarios de campo, recuperaciones de anillas y, por supuesto, la proporcionada por los jóvenes equipados con emisor.

Todos los ejemplares fueron clasificados como adultos (5 años o más) o inmaduros (menos de 5 años), de acuerdo a su plumaje (Ferrer y Calderón 1990). Las causas de muerte se determinaron a partir de las señales presentes en los cadáveres así como del lugar de localización. Se consideraron electrocutadas todas las águilas encontradas bajo apoyos eléctricos y que presentaban pequeñas quemaduras, generalmente en las garras y punta de un ala (Ferrer et al. 1986). La muerte por disparo se confirmó siempre que fue posible mediante inspección con rayos X. En otras ocasiones se localizaron los plomos directamente durante la autopsia. Se consideró muerte por inanición cuando el individuo era capturado sin poder volar, sin traumatismos detectables y con un bajo peso. En 8 de las 11 ocasiones, el estado de ayuno crónico fue confirmado mediante análisis de sangre, detectándose niveles elevados de urea. Adicionalmente, para analizar posibles sesgos por sexos en las causas de muerte, contábamos con 46 pollos sexados al final de su estancia en el nido (Ferrer y De le Court 1992), lo que nos da información de la razón de sexos al nacimiento.

En la tabla 3 se exponen los resultados de las muertes de águilas imperiales de las que se había conservado registro desde 1957. En total, 96 águilas de la población de



Doñana habían sido encontradas muertas, de las que el 88,29% fueron inmaduros. Esto suponía una media anual de 3 ejemplares. Considerando sólo el periodo desde 1974, año en que comenzaron a construirse las líneas eléctricas en el entorno del parque, las muertes anuales se elevaban a 5,53 águilas/año.

**Tabla 3. Muerte de águilas imperiales de Doñana según su clase de edad en el periodo 1957-1989.**

Año	Inmaduros	Adultos	Desconocido	Total
1957	2			2
1959	3			3
1960	1			1
1961	1			1
1966	1			1
1967	1			1
1968	1			1
1969	2			2
1970	1			1
1974	1			1
1975	4	1		5
1976	5	1		6
1977	3			3
1978	1			1
1979	5	1		6
1980	3	3		6
1981			2	2
1982	2	1		3
1983	4	4		8
1984	6	2		8
1985	1			1
1986	8			8
1987	15			15
1988	7			7
1989	3			3
<b>TOTAL</b>	<b>83</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>96</b>

La causa mayoritaria de muerte (tabla 4) resultó ser la electrocución en tendidos eléctricos de distribución, originando el 46,1% de la muerte de adultos y el 39,8% de la muerte de jóvenes. Considerando sólo aquellas muertes cuya causa había podido ser determinada, la electrocución representaba por aquel entonces el 60% de las muertes en la especie. En todos los casos, la muerte se produjo por derivación a tierra tras un contacto con una fase. No hubo ningún caso de colisión. La distribución de causas de muerte entre ejemplares marcados con radio emisor se presentan en la tabla 5. No existían diferencias significativas en la distribución de causas de muerte entre ejemplares marcados y no marcados con emisores.



**Tabla 4. Distribución de las águilas imperiales muertas según las causas de la muerte y su edad.**

Causa	Adultos	Jóvenes	Total	%
Electrocución	6	33	39	40,6
Disparo	6	16	22	22,9
Inanición		11	11	11,5
Otras		6	6	6,3
Desconocida	1	17	18	18,7
<b>TOTAL</b>	<b>13</b>	<b>83</b>	<b>96</b>	<b>100</b>

La razón de sexos en el momento del abandono del nido fue de 1:1. Sin embargo, se detectó una diferencia significativa en la mortalidad por electrocución entre ambos sexos, muriendo más hembras de las esperadas. Considerando las muertes agrupadas por causas, se encontraron diferencias muy significativas en la frecuencia de electrocuciones, siendo las hembras el 78,12% de las águilas muertas en tendidos. Para las demás causas de muerte, la proporción de sexos fue 1:1. Esta mayor mortalidad de hembras en tendidos fue de la misma magnitud fuera y dentro del parque nacional de Doñana (Ferrer 1993d). La selección de posaderos no mostró diferencias entre sexos, siendo los postes igualmente seleccionados por ambos sexos.

**Tabla 5. Causa de muerte en águilas con emisores.**

Causa	N	%
Electrocución	8	42,1
Disparo	4	21,0
Inanición	6	31,6
Otras	1	5,3
<b>TOTAL</b>	<b>19</b>	<b>100</b>

Así pues, la mayor parte de la mortalidad de la especie se debía a causas humanas directas o indirectas. En efecto, las electrocuciones y los disparos daban cuenta del 63,5% del total de muertes. Esta cifra significa, en el caso de Doñana, la muerte anual de un mínimo de 3,51 águilas por acción humana, cifra muy elevada para una población de tan sólo 15 parejas reproductoras. La electrocución diferencial de sexos encontrada en este estudio se atribuyó al mayor tamaño de las hembras. Pese a que las hembras se dispersan a mayor distancia que los machos, pudiendo con ello utilizar zonas con una diferente presencia de postes peligrosos, cuando sólo se analizaban las muertas en Doñana, la desproporción de sexos permanecía significativa e igual a la encontrada fuera del



parque. Por otra parte, no se detectaron diferencias intersexos en la utilización de las zonas superiores de los posaderos (Ferrer e Hiraldo 1992).

Sin embargo, era conocido que en el conjunto de aves de presa, las electrocuciones son tanto más frecuentes, en relación a la población nidificante, cuanto mayor sea el tamaño de la especie (Negro 1987, Ferrer et al. 1991), siempre que ésta utilice como posadero los tendidos eléctricos. Dado que las dimensiones de los apoyos son similares en tendidos de distribución y que las probabilidades de tocar un cable aumentan con la longitud del ala, es posible que, a partir de un determinado tamaño, el riesgo de electrocución aumente exponencialmente con el incremento de longitud de ala. Sea como fuere, una desproporción tan marcada entre sexos en la mortalidad podía tener unas graves consecuencias en el riesgo de extinción en una población tan pequeña.

Según un análisis del posible efecto de la corrección de tendidos en la persistencia del águila imperial en Doñana, demostramos (Ferrer e Hiraldo 1991) que la eliminación de las líneas eléctricas peligrosas en el entorno del parque y zonas de dispersión tenía unas consecuencias sobre el crecimiento de la población entre 11,3 y 53,4 veces mayores que el intercambio de pollos entre nidos (práctica habitual en la época para tratar de incrementar la productividad). Estas modificaciones de tendidos producirían un incremento en la población de águilas entre 2,19 y 16,3 veces más rápido que todas las demás medidas de conservación que se empleaban en la especie juntas (tabla 6). Esto significaba que si éramos capaces de acabar con la mortalidad por electrocución tanto dentro como fuera de Doñana, la población de águilas podría crecer casi a un 6% anual. Años después comprobaríamos que estábamos en lo cierto cuando, tras los arreglos de tendidos en Doñana y áreas de dispersión, la población comenzó a crecer por encima del 5% anual. Era, sin duda, una prioridad conseguir disminuir el tremendo problema que los tendidos eléctricos suponían para la supervivencia del águila imperial.

A comienzos de 1990, y después de las experiencias de Doñana, Las Lomas y lo que estábamos encontrando en las otras áreas de dispersión, estaba convencido que había dos caminos urgentes que recorrer para solucionar el problema de la mortalidad de aves en tendidos eléctricos.

En primer lugar, había que impedir que el problema siguiera creciendo. Teníamos que evitar que se siguieran construyendo tendidos con apoyos de diseño peligroso. A esas alturas ya teníamos información suficiente para poder decir cuáles de los diseños no eran aceptables para la seguridad de las aves y cuales sí. Claramente teníamos que conseguir modificar las leyes y reglamentos vigentes que por aquel entonces, como en el resto de Europa, no contemplaban en absoluto el riesgo para las aves. Idealmente esto debería hacerse de forma coordinada entre comunidades autónomas tratando de homogeneizar las normativas a través de una regulación estatal básica. Es decir, debía convencer a las consejerías de medio ambiente autonómicas y al Ministerio de Medio Ambiente.



**Tabla 6.** Cálculo del efecto que diversas actuaciones de conservación tendrían sobre la velocidad de incremento de la población de águilas imperiales (PCA = porcentaje de cambio anual, un PCA del +1,3% significa que la población será un 1,3% mayor al año siguiente, tomado de Ferrer e Hiraldo 1991).

Técnica	Parámetro	Máximo PCA	Mínimo PCA
Traslado de pollos dentro de Doñana	Fecundidad	+0,626%	0,000%
Introducción de pollos de otras poblaciones	Fecundidad	+0,399%	+0,112%
Restauración de nidos y nidos artificiales	Fecundidad	+0,547%	0,000%
Tratamiento de infecciones de pollos	Fecundidad	+0,074%	0,000%
Protección de tendidos en Doñana	Mortalidad adultos e inmaduros	+7,800%	+4,160%
Protección de tendidos en áreas de dispersión	Mortalidad de inmaduros	+3,610%	+1,830%

El otro aspecto del problema, de mucha más difícil solución es ¿qué hacer con los centenares de miles de postes con diseño inadecuado distribuidos por toda la geografía hispana? Evidentemente la única vía de solución realista pasaba por el desarrollo de sistemas que disminuyeran el riesgo de electrocución con un coste moderado, ya que se trataría de instalarlos en un elevadísimo número de postes. Por otra parte, dada la extremadamente contagiosa distribución de las muertes por electrocución y el nivel de conocimientos actual sobre los factores determinantes de los accidentes, parecía posible plantearse la determinación de las zonas de alto riesgo sin tener que efectuar recorridos anuales completos; proceso lento y costoso. Todos los estudios realizados hasta ese momento indicaban que una proporción muy baja de los postes acumulaba una alta proporción de accidentes, por lo que la posibilidad de disminuir sensiblemente la incidencia del problema mediante el arreglo de tendidos parecía una empresa abordable y, probablemente lo más eficaz que podríamos hacer por la conservación de algunas especies, como el águila imperial.

Estas dos líneas se harían realidad en los siguientes años. Se empezaría a publicar decretos autonómicos para construcción de nuevos tendidos y se pondría en marcha el proyecto de investigación para desarrollar sistemas de protección eficaces (Proyecto PIE).



## 4. No más tendidos eléctricos peligrosos

### El decreto de protección andaluz

Tras los datos obtenidos desde los primeros trabajos sobre mortalidad en tendidos eléctricos, resultó evidente que determinados tipos de apoyos eran especialmente peligrosos para las aves. Ya habíamos visto que la mayor parte de la varianza en la distribución de muertes se encontraba relacionada con la disposición de los aisladores, la existencia de puentes flojos situados por encima de los travesaños, o diferentes variantes que incluyeran elementos en tensión por encima de la zona utilizada por las aves para posarse. Estaba claro que necesitábamos impedir que el problema continuase creciendo y que nuevas líneas eléctricas se construyeran utilizando ese tipo de apoyos peligrosos. Teníamos que cambiar la ley que regulaba este tipo de instalaciones.

Esta batalla no se libraría en el campo, recorriendo centenares de kilómetros bajo las líneas, sino que tendría lugar en los despachos de empresas eléctricas, funcionarios y políticos y, como no, en los medios de comunicación. Por aquel entonces ya había descubierto la enorme importancia que políticos y empresas le daban a la prensa, así como el creciente interés de los medios por los asuntos ambientales. La alianza natural entre científicos y periodistas que aprendí entonces, sería una constante en muchos momentos de mi futura vida profesional.

El día 9 de diciembre de 1987, D. Roberto Sáez Alcalde, del grupo parlamentario mixto formuló una pregunta en el parlamento andaluz, dirigida al Consejero de la Presidencia del gobierno del partido socialista presidido por D. Manuel Chaves. La pregunta, que habíamos preparado unas semanas antes, era sobre el riesgo de extinción del águila imperial debido a la muerte en tendidos eléctricos. Tras exponer los abrumadores datos que le habíamos facilitado, que incluían entre otros que el 70% de las águilas nacidas en Doñana morían electrocutadas, preguntaba sobre qué iniciativas había tomado o pensaba tomar el gobierno al respecto. Durante la contestación, el consejero anunció su compromiso para desarrollar un futuro decreto regulador de nuevas líneas eléctricas, que evitaría el continuado crecimiento del problema. Es cierto que la respuesta del consejero se preparó previa consulta a la Agencia de Medio Ambiente, y ésta a nosotros, así que, en alguna medida, preguntamos y respondimos, asegurándonos que todo fuese bien.

A comienzos de 1988 tratamos de ayudar en el desarrollo de los contenidos que ese hipotético decreto debería contemplar. Mantuvimos numerosas reuniones con la Consejería de Medio Ambiente (por entonces aún agencia), en las que estuvo muy



implicada Rosario Pinto, así como representantes de la compañía eléctrica mayoritaria en Andalucía, Sevillana-Endesa. Las discusiones sobre la tipología de apoyos que se iban a prohibir en nuevas líneas no suscitaron demasiados desencuentros. Los datos eran muy claros y por parte de las compañías no había mayor inconveniente en tanto se tratase de nuevas líneas y no de las ya construidas. Desde el punto de vista de la empresa, en realidad no había diferencias significativas en el coste de una nueva línea dependiendo de la utilización de un modelo u otro de apoyo. No era una cuestión de intereses económicos la que había generado esta terrible situación, sino más bien el desconocimiento por parte de los ingenieros que diseñaron los apoyos sobre el efecto que estos pudieran tener en las aves. Ese carácter gratuito en la muerte de las rapaces hacía este problema todavía más terrible a mis ojos.

Mayores discusiones se generaron en cuanto a dos puntos críticos: el área de aplicación del decreto y el tratamiento que se daría a las líneas ya construidas. En cuanto al ámbito del decreto, nuestra sugerencia a la consejería era la de su aplicación en todo el territorio andaluz. Esta sugerencia, sin embargo, no prosperó. Y nunca estuvo claro para mí cuál fue el impedimento para ello, la consecuencia fue que el decreto quedó limitado a los espacios naturales protegidos o aquellas zonas que, basadas en un informe científico adecuado, la consejería considerase prioritarias para la protección de alguna especie en particular; tal era el caso de las áreas de dispersión del águila imperial. Años después, en otros decretos de otras comunidades, se ampliaría para todo el área y tendríamos que esperar algunos más, hasta el segundo decreto, para modificar esa limitación en toda Andalucía.

El otro tema que generaba grandes discrepancias era cómo tratar los apoyos peligrosos de líneas construidas con anterioridad al decreto. Yo, por supuesto, era partidario de obligar a su adecuada protección en los plazos que fuesen razonables. Sin embargo, en aquel entonces, el conocimiento de sistemas de protección para apoyos peligrosos era claramente muy limitado. Las experiencias en Doñana nos habían enseñado que transponer directamente sistemas empleados en otros países, con líneas construidas de forma diferente y con una avifauna diferente, no era recomendable en absoluto. Por otra parte, la mayoría, por no decir todos, de los escasos sistemas de protección disponibles en el mercado, se estaban comercializando sin ningún tipo de comprobación previa de su eficacia real. Llegados a este punto, parecía precipitado regular la protección obligatoria con sistemas que no sabíamos si funcionarían. Finalmente se optó por incluir la necesidad, para líneas ya existentes, de adecuarse al decreto sólo en los casos en que las tareas de mantenimiento fuesen de suficiente magnitud para requerir la tramitación ambiental.

Esta discusión, que sin duda no gané, sirvió sin embargo como punto de partida de un compromiso entre las compañías eléctricas y las administraciones para desarrollar y testar sistemas de protección de bajo coste y eficacia contrastada con los que resolver el problema de las líneas ya existentes. En poco tiempo fructificaría en forma de Programa de Investigación Electrotécnico.

Durante estas reuniones, era consciente de que la promulgación de normativas sobre seguridad de aves en instalaciones eléctricas debería hacerse no sólo a escala regional





sino nacional y que, aunque ya en aquellos años, España era en la práctica un estado federal, era el Ministerio el responsable de la legislación básica. Por ello, en 1988, y a la vez que seguíamos con las reuniones en Andalucía, Juan José Negro, compañero en el CSIC, y yo, fuimos al ICONA en Madrid a proponerles la misma estrategia que yo estaba impulsando en Andalucía. Tras un interminable viaje en autobús que nos llevó toda la noche, tuvimos una reunión con dos funcionarios, uno de los cuales era el responsable en el Ministerio de la conservación del águila imperial. Después de presentarles y entregarles nuestras propuestas nos despidieron amablemente diciendo que veían difícil que las compañías eléctricas quisieran colaborar en esto y que, aunque ellos lo intentarían, seguro que el Ministerio de Industria iba a vetar la iniciativa. Me recordó aquello de “para qué intentarlo, si es imposible”. Antes de irme les dije que en Andalucía, la compañía eléctrica estaba colaborando de manera importante y que estaba convencido de que, si la propuesta era razonable, no debería haber mayores problemas. Me ofrecí a ayudar en las negociaciones con empresas si lo consideraban adecuado y nos fuimos.

El 19 de junio del siguiente año, 1990, se aprobó en junta de gobierno el que resultó ser el primer decreto en Europa que regulaba la construcción de líneas eléctricas para la seguridad de las aves (Decreto 194/1990). En él se hacía referencia a la tipología de apoyo permitida (aisladores suspendidos y diseño al tresbolillo) así como la obligación de adecuar las líneas antiguas si las tareas de mantenimiento requerían autorización administrativa. También se regulaba aspectos relativos a colisión en líneas de transporte, con referencia al uso de señalizadores (salvapájaros). No obstante, el ámbito de aplicación quedó limitado a los espacios naturales protegidos y a posibles excepciones documentadas científicamente. Aún así, fue sin duda un gran primer paso que marcó el camino que seguirían poco después todas las demás comunidades autónomas y, nada menos que 18 años después, el Ministerio. El día de la presentación pública y rueda de prensa del decreto andaluz, sentado junto a Fernando Martínez Salcedo, responsable entonces de la Agencia de Medio Ambiente, tuve la certeza de estar viviendo un pequeño pero histórico paso.

Dos años después, volví a tener noticias del borrador de decreto del Ministerio. Endesa me hizo llegar un borrador que el ICONA había remitido al Ministerio de Industria y, éste a su vez a las empresas del sector para consultas. Cuando vi el borrador que circulaba me quedé estupefacto. El texto no tenía nada que ver ni con el decreto andaluz ni con las sugerencias que les habíamos entregado Juan José y yo. En ese borrador se proponían cosas tan peregrinas como señalizar todos los conductores del país, tanto de distribución como de transporte, con balizas del tipo que se emplean en navegación aérea en puntos concretos para facilitar la seguridad (balones con franjas blancas y rojas). Curiosamente, el borrador era menos restrictivo que el andaluz con los tipos de apoyos que podían usarse en nuevas construcciones, permitiendo la utilización de algunos de dudosa seguridad. Incluía referencias al soterramiento de líneas de una forma vaga y generalizada. Todo esto, junto con la falta de contactos previos con las industrias del sector por parte de medio ambiente tuvo el previsible resultado de abortar semejante decreto, mientras en todas las comunidades autónomas se iban aprobando decretos más sensatos y basados en el conocimiento científico disponible. Nunca supe



por qué en el ICONA hicieron las cosas así, pero el borrador parecía diseñado a propósito para ser rechazado. Aquella historia me recordó un documental sobre Doñana en el que entrevistaban a personas cuya vida entera había transcurrido en la marisma. A una señora mayor, habitante de un poblado de chozas de carboneros, al sur del parque, le preguntaban: “y, después de vivir aquí durante setenta años ¿qué es lo que ha visto que más le ha llamado la atención?” a lo que la señora, sin dudar, contesta “Yo lo más raro que he visto en mi vida es el “InCONA”.

## Los decretos de otras comunidades autónomas

A partir de la aprobación del decreto andaluz, comenzaron a prodigarse decretos por toda la geografía española con diferencias en cuanto al ámbito de aplicación y el tratamiento de las instalaciones existentes pero, como veremos a continuación, básicamente inspirados en el decreto andaluz de 1990.

Seis comunidades autónomas, además de Andalucía, desarrollaron legislación propia, coincidiendo principalmente en la definición del objeto como el establecimiento de normas técnicas aplicables a instalaciones eléctricas de alta tensión que discurrieran por sus respectivos territorios, con el fin de reducir los riesgos de electrocución o colisión que las mismas suponen para la avifauna. En 2006, Andalucía aprobó el segundo decreto (Decreto 178/2006) que derogaba el anterior y que ampliaba como zonas de protección para las medidas antielectrocución las ZEPAs, las zonas de especial conservación del Inventario de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía. Las medidas anticolidión deben colocarse obligatoriamente en las líneas nuevas y en las ya existentes en ZEPAs declaradas por la presencia de avifauna y sisón, y en zonas que discurran dentro de un radio de 2 km alrededor de las líneas de máxima crecida de los humedales incluidos en el inventario de humedales de Andalucía.

Incluye también este nuevo Decreto, un artículo prohibiendo los trabajos de mantenimiento en postes que soporten nidos de especies incluidas en el catálogo andaluz de especies amenazadas, durante la época de reproducción y cría. Los trabajos urgentes deberán ser autorizados por la Delegación Provincial. Y además, se permite adoptar medidas antinidificación compatibles con la conservación de aves.

Estas nuevas medidas debían ejecutarse en un plazo de 5 años desde la aprobación del Decreto, que ha vencido en 2011, encontrándose aún muchas de ellas en trámites. La responsabilidad económica recae sobre los propietarios de las líneas eléctricas.

La segunda comunidad autónoma en desarrollar su propia normativa fue Navarra, con el Decreto Foral 129/1991. Especifica en su objeto entre instalaciones de alta y baja



tensión, y regula las líneas eléctricas existentes en áreas afectadas por planes aprobados en materia de recuperación o de conservación del hábitat de especies catalogadas como “en peligro de extinción” o “sensibles a la alteración de su hábitat”. Asimismo pide evitar que las nuevas líneas atraviesen Reservas Integrales y Naturales declaradas. Las medidas anticollisión se hacen obligatorias en las líneas eléctricas que atraviesen rutas migratorias, áreas próximas a zonas húmedas o colonias de nidificación, información que será proporcionada por el Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente. No pone plazo de ejecución de estas medidas, que será a cargo de los titulares de las líneas eléctricas.

A lo largo de 1998, tanto la Comunidad Autónoma de Madrid como La Rioja, publicaron sus normativas con apenas unos meses de diferencia (Decreto 40/1998 y Decreto 32/1998, respectivamente). En el caso de Madrid, incluye ya en su objeto la reducción del impacto paisajístico de las instalaciones eléctricas. Aparecen, al igual que en Navarra, tanto la obligación de modificar las líneas previamente existentes que atraviesen zonas afectadas por los planes de recuperación para las especies “en peligro de extinción”, según el Catálogo Regional de Especies Amenazadas, como la elusión de Reservas integrales de los espacios protegidos y Parques Regionales y Naturales declarados. No impone un periodo concreto de actuación, pero como novedad, especifica colaboraciones a nivel presupuestario cuando se trate de líneas eléctricas ya existentes.

La normativa de La Rioja, aumenta sus zonas de protección al suelo no urbanizable o suelo industrial para instalaciones de nueva construcción, variantes y reformas de instalaciones existentes que supongan un cambio en las características geométricas de la instalación y que precisen la tramitación de un expediente administrativo. Aquellas que atraviesen Espacios Naturales Protegidos, deberán adaptarse a los instrumentos de planificación aprobados. Al igual que Navarra y Madrid, las nuevas líneas evitarán atravesar los espacios naturales protegidos declarados como Reservas Naturales, y los Espacios Naturales afectados por Planes de Recuperación aprobados para especies de aves catalogadas como “en peligro de extinción”. Las líneas previamente existentes deberán ser clasificadas en función de su peligrosidad, con objeto de priorizar en su arreglo. Como Andalucía, introduce las normas a aplicar en los casos de trabajos de mejora en líneas con nidificaciones, fuera de los periodos críticos, excepto por causas debidamente justificadas y autorizadas por la Dirección General del Medio Natural.

La siguiente comunidad en aprobar su propia normativa fue Castilla La Mancha por medio del Decreto 5/1999. Establece diferencias entre líneas eléctricas de alta y baja tensión en las condiciones técnicas generales, especificando medidas adicionales en líneas de alta tensión en zonas con especial riesgo para la avifauna amenazada, tales como áreas de nidificación, campeo o concentración de especies amenazadas de aves de gran envergadura, como áreas donde se concentre el flujo de aves en vuelo, por ser rutas migratorias o de paso frecuente, en particular las áreas de influencia de humedales, áreas de nidificación o zonas de concentración de grandes aves. Apunta asimismo, las condiciones de trabajos de mantenimiento en casos de nidificación. Al igual que La Rioja establece una identificación de tendidos ya existentes peligrosos para



su modificación, mediante acuerdos con propietarios. Y, por primera vez, la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente se hace cargo de la supervisión para que todas estas medidas se lleven a cabo.

La siguiente comunidad en tener su propia legislación fue Extremadura, con su Decreto 47/2004, que presenta algunos artículos novedosos como que, para instalar las medidas anticollisión las zonas de protección serán determinadas por la Dirección General de Medio Ambiente, en función de la densidad de paso de aves y/o presencia de especies protegidas, mientras que para la electrocución, se amplía al suelo no urbano. En relación a la nidificación de aves, mencionando expresamente el caso de la cigüeña blanca, autoriza la instalación de disuasores, medidas antinidificación y/o de compensación. Prohíbe la existencia de más de un nido por apoyo y, en situaciones de líneas eléctricas sobrecargadas, se podrán eliminar nidos previa autorización de la Dirección General de Medio Ambiente. Este Decreto posee un artículo específico de recomendaciones muy completas para la minimización del impacto paisajístico. Para la instalación o modificación de las líneas eléctricas se solicita un estudio de impacto ambiental en el que se debe incluir, como un apartado, el programa de vigilancia ambiental.

Por último, en 2005, el Gobierno de Aragón publicó su Decreto 34/2005, que establece normas técnicas aplicables a las instalaciones eléctricas aéreas de alta tensión, líneas y derivaciones de nueva construcción, y variantes y reformas a realizar en instalaciones ya existentes. Crea un Registro de Instalaciones de Alta Peligrosidad para la Avifauna, muy amplio, entre las que incluye aquellas zonas que discurren por el interior o por los límites de las áreas donde se aplican Planes de Recuperación, de Conservación del Hábitat o de Conservación para las especies de aves catalogadas como “En peligro de extinción”, “Sensibles a la alteración de su hábitat” o “Vulnerables” según el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón (Decreto 49/1995); las zonas ZEPAs y banda perimetral de protección de 1,5km: las áreas sensibles dentro de los Espacios Naturales Protegidos y Lugares de Importancia Comunitaria (LICs); las zonas urbanas que incidan sobre especies de aves catalogadas asociadas a estos medios o cuyo uso por parte de dichas aves pueda derivar en riesgos para la seguridad pública; y otras áreas donde se constate su peligrosidad por accidentes reiterados o por estudios técnicos que demuestren objetivamente un riesgo elevado.

Asimismo, se prohíbe el trazado de líneas eléctricas de nueva construcción que atraviese los espacios naturales protegidos ya declarados o dotados de instrumentos de planificación de recursos naturales protegidos. Únicamente se permitirá cuando se sometan a los correspondientes instrumentos de ordenación y planificación territorial vigentes y cumplan ciertas especificaciones técnicas haciendo hincapié en aspectos relacionados con la protección del paisaje. La vigilancia de todos estos aspectos correrá a cargo del Departamento de Medio Ambiente, aunque se puede establecer que sean las mismas empresas las que remitan los informes a la entidad medioambiental competente. Un aspecto a destacar de este último Decreto regional previo al Real Decreto nacional, es que se debe comunicar la existencia de aves muertas o heridas en las inmediaciones de la instalación, a los Agentes de Protección de la Naturaleza o a la Guardia Civil.



# El decreto de protección nacional

El 29 de Agosto de 2008, 18 años más tarde que el primer decreto andaluz, se aprobó, por fin, el Real Decreto 1432/2008, de ámbito nacional y promovido por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, por el que se establecen normas de carácter técnico de aplicación a las líneas eléctricas aéreas de alta tensión con conductores desnudos y situados en las zonas de protección definidas en el artículo 4 del mismo decreto, con el fin de reducir los riesgos de electrocución y colisión para la avifauna, lo que redundará a su vez en una mejor calidad del servicio de suministro.

Estas medidas son de obligado cumplimiento en aquellas líneas eléctricas aéreas de alta tensión de nueva construcción ubicadas en zonas de protección. También se aplicará en las líneas eléctricas ya existentes que deban ser modificadas o ampliadas. Las medidas de antielectrocución serán obligatorias en líneas ya existentes, pero no las medidas anticolidión que serán voluntarias. Este Real Decreto define también las zonas de protección en las que se deberán tomar estas medidas, como las Zonas de Especial Protección para las Aves (las conocidas como ZEPAs), los ámbitos de aplicación de los planes de recuperación y conservación de las comunidades autónomas de aves, y las áreas prioritarias de reproducción, alimentación, dispersión y concentración local de aves. Estas especies de aves deberán estar incluidas en el Catálogo Español de Especies Amenazadas o en los catálogos autonómicos. Por este motivo se obliga, en el plazo máximo de un año, a que todas las comunidades autónomas publiquen en sus boletines oficiales correspondientes, las zonas de protección existentes en sus respectivos territorios, así como un inventario de las líneas eléctricas ya existentes que provoquen una significativa y contrastada mortalidad por colisión de aves incluidas en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial.

Otro punto importante que especifica el Real Decreto es el relativo al mantenimiento de las líneas eléctricas. Se prohíbe en época de nidificación, reproducción y crianza, los trabajos de mantenimiento en las partes de los tendidos eléctricos que soporten nidos o que en sus proximidades nidifiquen aves incluidas en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial. Se permitirán excepciones, previa autorización, cuando se trate de corregir averías que perturben el suministro normal de energía.

Sorprendentemente, este decreto incluía la disponibilidad de fondos públicos para financiar los arreglos. Se estipulaba que todas estas medidas serían costeadas por el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, en un plazo no superior a cinco años desde la publicación del Real Decreto. Esto tuvo el efecto de paralizar todas las correcciones que se estaban acometiendo bajo otros decretos, en los que se había establecido un procedimiento de cofinanciación entre propietarios particulares y administraciones. Con la promulgación del decreto del ministerio las empresas quedaron a la espera de que se articulara el procedimiento de financiación para continuar con los arreglos, con lo que se han perdido algunos años preciosos para disminuir este problema global.



Como aspecto negativo del Real Decreto hay que destacar que no considera la regulación de líneas eléctricas fuera de las llamadas “zonas de protección”, y además deja a la voluntad de los titulares de las líneas eléctricas las medidas anticolidión (salvo si son de nueva construcción). También quedan excluidas de esta regulación, las líneas eléctricas que constituyen el tendido de tracción propiamente dicho -línea de contacto- de los ferrocarriles.

La existencia de este Real Decreto ha obligado a que todas las comunidades autónomas tengan en cuenta a la avifauna cuando se instalen y/o corrijan líneas eléctricas puesto que, hasta la fecha de su aprobación, sólo siete comunidades autónomas contaban ya con normativa específica vigente. Aunque se establecen así por ley unos requerimientos mínimos, algunas de las normativas regionales son más restrictivas mientras que otras son más livianas. Es la consecuencia inevitable de publicar una legislación básica 18 años más tarde, cuando ya muchas comunidades, ante la ausencia de una guía estatal, habían publicado sus propios decretos según sus criterios. En la fecha de publicación de este libro, aún no se ha resuelto el problema planteado por la publicación del decreto del ministerio y su afirmación de que los arreglos, en vez de ser al menos cofinanciados por compañías eléctricas como así estaban siendo en muchas comunidades autónomas, sean financiados íntegramente por dineros públicos. De nuevo no puedo dejar de acordarme de la señora de Doñana.



## 5. El proyecto PIE: una investigación necesaria

Tras la aprobación del decreto andaluz sobre seguridad de aves en instalaciones eléctricas de 1990 y a pesar de algunas carencias, habíamos evitado al menos que el problema de las electrocuciones y colisiones en Andalucía siguiera creciendo. Además, poco a poco se iban promulgando decretos similares en todas las comunidades autónomas. Ahora, teníamos otro problema que resolver: los centenares de miles de postes ya instalados por toda España y cuyo diseño podía ocasionar accidentes. Estaba claro que los sistemas empleados con tanto éxito en Doñana no era posible aplicarlos a gran escala. Efectivamente, aunque el cable trenzado era un poco más barato que soterrar la línea, aún así, su coste por kilómetro era cerca de 6 veces más que el del tendido desnudo convencional. Doñana podía justificar ese gasto, pero no podíamos pretender resolver así los problemas de líneas eléctricas aéreas por todo el país. La extensión de la red de tendidos eléctricos que atravesaban espacios naturales hacía que la sustitución o modificación generalizada de los apoyos, para evitar o reducir los riesgos de electrocución, o la adopción de medidas correctoras anticolidión en todos los vanos de las líneas, fuese económicamente inviable.

Con la inestimable ayuda de Fernando Manzanares, presentamos una propuesta de investigación al Programa de Investigación Electrotécnica (PIE). En aquellos años existía un organismo dependiente del Ministerio de Industria, la Oficina para la Coordinación de la Investigación y el Desarrollo Electrotécnico (OCIDE). Este organismo coordinaba las inversiones del fondo que se generaba por las aportaciones obligatorias de las empresas del sector. A Fernando Manzanares se le ocurrió que ése era el camino natural para financiar este proyecto, que pretendía caracterizar el efecto de los tendidos en las comunidades de aves en espacios naturales de todo el país, desarrollar sistemas de protección y comprobar su eficacia.

Tras varias reuniones en Madrid y Sevilla, así como una presentación en Sevilla, abierta a todo el personal y con la presencia del entonces consejero delegado Emilio Zurutuza, el proyecto estuvo listo para ser presentado al Ministerio de Industria (OCIDE). En el proyecto participarían Sevillana, Iberdrola, Red Eléctrica de España, Consejería de Medio Ambiente de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente de Extremadura, Ministerio de Agricultura (ICONA, Parque Nacional de Doñana) y Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Estación Biológica de Doñana), siendo este último el encargado de la investigación.

Durante la preparación del proyecto habíamos tenido reuniones con todos los participantes, incluyendo por supuesto el ICONA. Nuestra intención era utilizar las



instalaciones de recuperación de aves en Doñana para ensayar sistemas de protección en apoyos en condiciones controladas con aves en cautividad. Durante esas reuniones hubo numerosas discusiones sobre el proyecto, que el representante del ICONA, por cierto el mismo funcionario al que algún año antes le había entregado nuestras sugerencias para el decreto nacional, no terminaba de considerar necesario. A pesar de que los estudios realizados hasta la fecha demostraban una y otra vez que la tipología del apoyo junto con la densidad de aves explicaba la mayor parte de la varianza en la distribución de muertes y que, por lo tanto, podían tener un valor predictivo importante para seleccionar dónde actuar en los tendidos ya existentes, el ICONA pensaba que lo mejor era arreglar aquellos postes donde se mataran las águilas y ya está. Es decir, deberíamos esperar a que las águilas, con el sacrificio de sus propias vidas, nos señalaran dónde intervenir. Si una moría en un apoyo, pues se arreglaba ese apoyo en concreto y nada más. Aunque parezca increíble, ese fue el criterio que se seguiría, por consejo del ICONA, en otras comunidades autónomas con presencia de águilas imperiales que no participaron en el PIE. Estas diferencias en los criterios de intervención en tendidos eléctricos haría que, años más tarde, la población de águilas imperiales de Andalucía creciera mucho más deprisa que en ninguna otra comunidad. De nuevo, según decía la señora de Doñana, el “InCONA” se hacía difícil de entender.

Antes de la realización de este proyecto de investigación, se habían estudiado aspectos parciales del problema y habiéndose intentado distintas soluciones, aunque no se llegó a cuantificar su magnitud real ni se encontraron soluciones económicamente viables para las líneas ya instaladas o un diseño seguro y sin costes adicionales para las líneas de nueva construcción. Desde la aparición de los primeros estudios que hicimos en Doñana, se habían multiplicado por toda la geografía española revisiones de líneas eléctricas para la localización de puntos negros, por acumulación de víctimas, y estudios de interés desigual para identificar factores relacionados con la electrocución y colisión de las aves, sin la debida coordinación. La mayoría de estos estudios indagó sólo los elementos descriptivos del problema y sirvió para poner de manifiesto mayores o menores tasas de mortalidad en áreas concretas o en poblaciones de especies de determinadas.

A medida que se avanzaba en el conocimiento de la dimensión del problema generado por la difícil convivencia entre los tendidos eléctricos y la avifauna, algunas compañías eléctricas dedicaron esfuerzos puntuales para estudiar el problema y buscar soluciones viables desde el punto de vista técnico y económico. A finales de la década de los 80, las condiciones para la colaboración entre los distintos agentes implicados en esta cuestión eran favorables, por lo que, finalmente, tomó cuerpo un ambicioso proyecto de investigación que se planteó sobre bases rigurosas, para alcanzar los dos objetivos necesarios: conocer con profundidad el problema y encontrar soluciones para resolverlo.

En 1991, tres empresas eléctricas españolas: Compañía Sevillana (futura Endesa), Iberdrola y Red Eléctrica de España, promovieron un proyecto de investigación en el marco del Programa de Investigación y Desarrollo Electrotécnico (PIE), coordinado por la Oficina para la Coordinación de la Investigación y el Desarrollo Electrotécnico (OCIDE). La materialización de esta iniciativa se produjo con la firma de un convenio de colaboración entre las tres empresas eléctricas y el Consejo Superior de Investigaciones





Científicas (CSIC), que se convirtió en el núcleo principal del proyecto y absorbió el 60% de su presupuesto. Aparte de los trabajos del CSIC, las empresas promotoras realizaron investigaciones parciales concurrentes con los objetivos del estudio y recopilaron o desarrollaron los prototipos de las medidas correctoras que fueron objeto del mismo.

Se comenzó en abril de 1991, con el objetivo de valorar cuantitativa y cualitativamente la mortalidad ocasionada por las líneas eléctricas en las aves, la identificación de los factores implicados y el desarrollo de soluciones viables para su instalación en un gran número de apoyos por todo el país. Para gran parte de los trabajos de campo se contrató a la empresa consultora Asistencias Técnicas Clave S.L. El proyecto era único en sus ambiciosos objetivos así como en el esfuerzo coordinado de tres grandes compañías eléctricas, instituciones científicas y administraciones públicas de conservación de la naturaleza en un estudio de larga duración.

Desde el comienzo, y en base a los estudios previos, distinguimos con claridad entre dos familias de problemas, la colisión contra los cables y la electrocución en los apoyos que fueron abordados de forma independiente y con sus características metodológicas propias. El trabajo constaba de dos fases principales. La primera consistió básicamente en la cuantificación de la mortalidad y el análisis de los factores que la condicionaban en las áreas de estudio elegidas. La segunda fase analizaba la eficacia de medidas correctoras tanto de colisión como de electrocución.

El estudio de la electrocución constaba además de una fase adicional no presente en el caso de la colisión, que fue el ensayo en laboratorio del comportamiento de las aves y la eficacia de diferentes tipos de medidas antielectrocución, las mejores de las cuales se instalarían posteriormente en las líneas estudiadas para valorar la reducción real de los accidentes. Un estudio similar a éste no pudimos plantearlo en el caso de colisión ante la imposibilidad de contar con un laboratorio con capacidad para ensayar sistemas anticolidión en condiciones de vuelo de aves similares a las naturales.

La primera fase del proyecto, de un año de duración, finalizó en marzo de 1993. Al mes siguiente se inició la segunda fase, con la instalación de las primeras medidas antielectrocución sobre líneas de distribución. La instalación de algunas de estas medidas se prolongó en algún caso hasta febrero de 1994. Los últimos dispositivos anticolidión se colocaron en octubre de 1994, y el estudio de su eficacia, como en el caso de los dispositivos antielectrocución se prolongó un año más, hasta febrero de 1995. A cada fase del estudio le correspondió un intenso trabajo de campo de un poco más de un año de duración. Llevado a cabo entre 1991 y 1992 para la primera fase y entre 1993 y 1994 para la validación de sistemas correctores. Aproximadamente 30 kilómetros de líneas de transporte y más de 3.000 apoyos de distribución fueron controlados durante este estudio, con una frecuencia de recorridos bimestral en la primera fase y mensual en la segunda.

Tanto los estudios de colisión como los de electrocución se desarrollaron en cinco áreas diferentes. Algunas de estas áreas fueron comunes para ambos estudios. Estas áreas se localizaron en Badajoz, Cáceres, Huelva, Sevilla y Navarra y se eligieron en función de su avifauna y de la tipología de tendidos eléctricos.





## 6. El proyecto PIE: estudio de la colisión

### Estimación de la mortalidad

Aun cuando la colisión de un ave puede tener lugar contra cualquier tipo de cable de un tendido aéreo, es muy frecuente que sea contra los tendidos de transporte, y en concreto contra los cables de tierra que muchos de estos tendidos tienen sobre el nivel de los cables conductores o fases. La causa inmediata de la colisión parece encontrarse en la dificultad del ave en detectar a tiempo y evitar con éxito los cables. Típicamente las aves que vuelan en grandes bandos, que hacen vuelos crepusculares o en condiciones de baja visibilidad son las principales candidatas. Entre los factores que pudieran condicionar el riesgo de colisión también pueden incluirse características propias de la línea. La altura de los cables, el número de circuitos, el número de planos que forman los conductores y la presencia o no de cables de tierra se encuentran entre ellos. Así mismo, las características del terreno pueden afectar al riesgo de colisión. Todos estos factores se registrarían durante la primera fase del estudio para tratar de determinar con precisión su posible efecto en el nivel de riesgo.

Los objetivos de la primera fase del estudio de colisión incluían la caracterización de las líneas seleccionadas (tensión nominal, altura de torreta, número y disposición de los cables, tipo de hábitat, composición y densidad de aves) y la obtención de estimas generales de mortalidad. En la segunda fase se colocarían dispositivos señalizadores anticolidión y durante un año comprobaríamos si reducíamos de forma significativa o no la mortalidad registrada en la primera fase.

Las áreas de estudio elegidas para la colisión fueron las siguientes (figura 1):

#### *1. Valdecaballeros-Almaraz/Morata.*

Línea de transporte de Red Eléctrica de España de 400 kV en doble circuito con dos cables de tierra. Está situada en las provincias de Badajoz y Cáceres (Extremadura). Se seleccionaron 20 vanos (aproximadamente 13 km).

#### *2. Almaraz-Guadame (embalse de Orellana).*

Línea de transporte de Red Eléctrica de España de 400 kV con dos cables de tierra. Está situada en la provincia de Badajoz. Se seleccionaron 18 vanos (aproximadamente 10 km).



### 3. Foz de Lumbier.

Línea de transporte de Red Eléctrica de España de 220 kV con torres al tresbolillo con un solo cable de tierra. Está situada en el prepirineo navarro. Se seleccionaron cinco vanos de una longitud aproximada de 1000 m.

### 4. Llanos de Cáceres.

Línea de transporte de Iberdrola de 132 kV con dos cables de tierra. Está situada en la provincia de Cáceres en una zona de alta densidad de avutardas. Se seleccionaron 15 vanos (aproximadamente 6 km).

### 5. Marismas del Odiel (Huelva).

Línea de distribución de Sevillana de Electricidad 13 kV sin cables de tierra. Los apoyos son del tipo bóveda. Está situada en la provincia de Huelva. Se seleccionaron 10 vanos (aproximadamente 1.200 m).

Figura 1. Áreas de estudio utilizadas para el estudio de colisión.





En todos los tendidos seleccionados se realizaron recorridos para determinar el número de víctimas. Se hicieron además experimentos de pérdida de cadáveres así como de detectabilidad. Para estas últimas, uno de los técnicos dejaba aves previamente recogidas de diferentes tamaños y a distintas distancias. A continuación otro técnico distinto, sin información previa, recorría la línea. Así podíamos determinar cuantos cadáveres presentes eran detectados por los técnicos de campo y la influencia en esa detectabilidad del tamaño del ave. Los recorridos del estudio de la colisión se hicieron batiendo una zona amplia bajo los cables, intentando localizar los restos al menos en una banda de 50 metros bajo los conductores. También se realizaron censos de aves que cruzaban las líneas para poder estimar tasa de colisión por cada mil aves.

Después de un año completo de seguimiento de la mortalidad, resultó ser Llanos de Cáceres el área donde más víctimas recogimos con 34 aves colisionadas (5,7 víctimas por kilómetro de línea). Sin embargo, la mayor tasa por kilómetro correspondió a Marismas del Odiel con 19,1 aves por kilómetro de línea. Valdecaballeros con 1,5 aves/km y Orellana con 1 ave/km mostraron valores intermedios. En Foz de Lumbier, contrariamente a lo previsto dado el elevadísimo cruce de la línea por buitres leonados, no se encontró ni una sola víctima. En total se recogieron 86 aves colisionadas en las áreas elegidas (tabla 1). De entre las especies con víctimas cabe destacar las 16 avutardas muertas en Llanos de Cáceres. Esta especie, en situación de riesgo en España y objeto de especial atención, se convirtió en una de las aves que más frecuentemente se chocan contra los cables de tendidos eléctricos.

**Tabla 1. Víctimas de colisión por especies y zonas de estudio. En Foz de Lumbier no se encontraron víctimas.**

Especie/Área	Valdecaballeros	Orellana	Cáceres	Odiel	TOTAL
Ánade real			2	1	3
Fumarel común				15	15
Cigüeña común	2	3	3		8
Paloma torcaz	6	3			9
Polla de agua			1		1
Grulla común	8	3			11
Buitre común	1				1
Gaviota sombría				1	1
Gaviota reidora				1	1
Avutarda			16		16
Sisón	1		9		10
Flamenco				5	5
Mosquitero sp.			2		2
Avefría			1		1
Indeterminada	1	1			2
<b>TOTAL</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>34</b>	<b>23</b>	<b>86</b>



Comparando los datos de censos locales con las víctimas encontradas bajo las líneas no encontramos ninguna relación. Eso significa que no se matan según su número en la zona, habiendo especies que tienen mayor probabilidad que otras a colisionar. Entre las menos proclives a la colisión se encontraban las rapaces y córvidos, y entre las más proclives las avutardas y las grullas. Los análisis posteriores revelarían que las características biofísicas ayudaban a explicar esas diferencias, siendo las aves de mayor envergadura y carga alar, es decir, con menos capacidad de maniobra, las víctimas desproporcionadamente más frecuentes de colisiones contra tendidos.

Los resultados de los experimentos de pérdidas nos permitieron estimar que el número real de víctimas había sido de mayor magnitud. Para Valdecaballeros, la estima era de 48 aves/km y año, en Orellana de tan sólo 5 aves/km y año, 171 víctimas por km y año en Marismas del Odiel y 36 aves/km y año en Llanos de Cáceres. Aún así, el número de aves muertas era bajo comparado con el número de cruces estimado por kilómetro y año para esas mismas líneas. Es decir, la gran mayoría de las aves pueden, afortunadamente, evitar las líneas eléctricas. En resumen, aunque la mortalidad de aves por colisión pueda considerarse relativamente reducida y localizada, los resultados demostraban que localmente el impacto de esta causa de muerte puede llegar a ser realmente preocupante, concentrándose en ocasiones en especies amenazadas o emblemáticas.

## Eficacia de sistemas anticolidión

Caracterizada la mortalidad en los cinco lugares de estudio, en 1993-1994 se procedió a la segunda fase del estudio de colisión; la comprobación de la eficacia de sistemas anticolidión. Para ello se seleccionaron las áreas que en la primera fase habían registrado el mayor número de víctimas, asegurándonos así el tamaño de muestra suficiente con objeto de que las posibles conclusiones fuesen significativas desde un punto de vista estadístico. De esta manera, en la segunda fase se trabajó en las Marismas del Odiel, Valdecaballeros y Llanos de Cáceres. En cada área se seleccionó un único tramo de estudio que fue delimitado por los vanos en los que se encontraron más víctimas en la primera fase así como una distribución más homogénea de las mismas. Además de los vanos modificados se establecieron un número equivalente de vanos de control intercalados entre los señalizados, donde no se señaló para poder comprobar que las posibles diferencias en los vanos señalizados se debían a los dispositivos y no a una variación interanual de la mortalidad en el área. En total 14 vanos señalizados (4 en Odiel, 3 en Valdecaballeros y 7 en Llanos) y 16 de control (4 en Odiel, 4 en Valdecaballeros y 8 en Llanos) constituyeron el estudio de la eficacia de los sistemas de señalización.



Las medidas aplicadas tuvieron como objetivo hacer más visibles los cables para las aves. Los dispositivos empleados y su colocación fueron las siguientes:

- **Marismas del Odiel:** Abrazaderas de poliamida en la fase central con un extremo colgante de 70 cm de longitud y 8 mm de anchura, dispuestas en grupos de tres cada 15 m.
- **Valdecaballeros:** Espirales blancas de PVC, con 30 cm de diámetro y 1 m de longitud (salvapájaros), dispuestas en ambos cables de tierra, al tresbolillo y cada 10 m, generando un efecto visual equivalente a una señal cada 5 m.
- **Llanos de Cáceres:** Tiras de neopreno negro (5x35 cm), sujetas por una grapa de poliuretano específico con cintas luminiscentes, colocadas en los cables exteriores cada 20 metros dispuestas al tresbolillo para generar un efecto visual equivalente a una señal cada 10 m.

En esta segunda fase y, con el objeto de aumentar al máximo la posibilidad de detectar diferencias entre vanos señalizados y de control en cuanto al número de víctimas, se introdujeron dos variantes respecto de la fase uno. La primera fue que los recorridos se hicieron mensualmente y no bimestrales como al principio. Además, se amplió el área de búsqueda a una franja de 100 m centrada en la línea, realizándose los recorridos por dos personas simultáneamente y recorriendo la línea en ambos sentidos.

Para valorar el efecto de la instalación de las medidas anticolidión se han comparado los resultados de víctimas encontradas en vanos señalizados y control, antes y después de la colocación de las señalizaciones.

#### **Marismas del Odiel (medida: abrazaderas)**

- Aves en vanos sin señalización (antes-después): 16-12
- Aves en vanos con señalización (antes-después): 1-6

La señalización de la línea no ha modificado su peligrosidad, e incluso se ha incrementado el número de víctimas tras la colocación de las medidas, aunque el resultado no es significativo.

#### **Valdecaballeros (medida: espirales)**

- Aves en vanos sin señalización (antes-después): 4-21
- Aves en vanos con señalización (antes-después): 8-4

La señalización ha reducido de forma significativa la peligrosidad de la línea

#### **Llanos de Cáceres (medida: tiras de neopreno)**

- Aves en vanos sin señalización (antes-después): 19-16
- Aves en vanos con señalización (antes-después): 15-4



Los resultados no son del todo convincentes, aunque se puede concluir que la señalización ha podido tener efecto positivo sobre la reducción de accidentes, los resultados son sólo marginalmente significativos.

Como resumen final del estudio de colisión podemos destacar las siguientes conclusiones.

- 1) Las limitaciones metodológicas en el diseño de este tipo de estudios pueden condicionar la validez de los datos obtenidos. La no detección de víctimas por los observadores y la pérdida de cadáveres por carroñeros pueden hacernos subestimar de forma importante la mortalidad real.
- 2) El riesgo de colisión no está tan relacionado con la frecuencia de vuelos de aves sobre una línea (abundancia total de aves) como con las características de las especies presentes en el área.
- 3) No se puede hablar de líneas peligrosas sino de tramos peligrosos. La colisión es un fenómeno local y dependiente de la presencia de especies susceptibles. Resulta difícil valorar el posible efecto de las características técnicas del tendido sobre la muerte de aves.
- 4) Los accidentes de colisión son más frecuentes entre aves de comportamiento gregario que forman acumulaciones en lugares de alimentación o reproducción. Las especies más afectadas son las aves acuáticas, grullas, cigüeñas, avutardas y sisonas, pero también invernantes que forman grandes agregaciones (pase-riformes, avefrías, etc.).
- 5) Para algunas especies, como es el caso de la avutarda, el impacto de la mortalidad por colisión en sus poblaciones puede ser considerable.
- 6) Las espirales blancas (salvapájaros) se han revelado como una medida eficaz para reducir el riesgo de colisión. Las tiras de neopreno no pudieron ser suficientemente contrastadas, aunque hay indicios de que pueden ser igualmente eficaces. Las abrazaderas usadas en el Odiel, sin embargo, no consiguieron la menor reducción de la mortalidad por colisión.





## 7. El proyecto PIE: estudio de la electrocución

### Estimación de la mortalidad

De nuevo, al igual que en el estudio de colisión, el objetivo de la primera fase del estudio de electrocución fue la determinación de la magnitud relativa de la electrocución de aves en diferentes áreas naturales del país, que incluían diferente avifauna y diferentes diseños de apoyos, tratando de identificar las características que propiciaban la acumulación de muertes. Para ello se trató de identificar los factores relacionados con el diseño o el hábitat que afectasen a la distribución de la mortalidad. Además, se trataba de determinar la importancia relativa de la electrocución para diferentes grupos de aves. La magnitud de la electrocución no es igual para todas las especies. Así, hay grupos de especies que se pueden ver mucho más afectados que otros y, dentro de estos grupos algunas especies lo sufren más que otras. En general, la susceptibilidad a este tipo de accidentes depende del comportamiento del ave (utilización frecuente de apoyos, nidificación, etc.) y de su tamaño, siendo las de mayor envergadura más proclives a la electrocución.

Las áreas de estudio se escogieron en función de su avifauna y la presencia de líneas de distribución. Todas ellas fueron áreas naturales de excepcional valor ornitológico (figura 1). En cada zona de estudio se decidió controlar un número de apoyos lo suficientemente elevado como para reflejar la diversidad de tipos de postes y de hábitat presentes. El número de postes a revisar se fijó en proporción al número de postes presentes en el área, sin que en ningún caso superasen los 800. Los tramos de líneas y postes a estudiar en cada área fueron seleccionados de forma aleatoria.

#### *1. Parque Natural del Entorno de Doñana.*

Situado en las provincias de Sevilla y Huelva rodeando al Parque Nacional del mismo nombre. Se seleccionaron 800 apoyos de 13 kV pertenecientes a Sevillana y propietarios particulares.

#### *2. Laguna del Portil y Marismas del Odiel.*

Ubicadas en la provincia de Huelva. Se siguieron 256 postes de una red de 15 kV propiedad de Sevillana y de particulares.



### 3. Sierra de San Pedro.

Situada al suroeste de la provincia de Cáceres y noroeste de la de Badajoz. Se seleccionaron 586 apoyos con tensiones nominales de 13 kV y 44 kV propiedad de Iberdrola y de particulares.

### 4. Llanos de Cáceres.

Esta zona donde también se estudió la colisión en una línea de transporte, esta situada en la provincia de Cáceres y es famosa por sus elevadas concentraciones de avutardas. Se seleccionaron 800 apoyos en líneas de 44 kV y de 13 kV, propiedad de Iberdrola y de particulares.

### 5. Parque Natural de Monfragüe.

Situado entre el puerto de Miravete y el Puerto de la Serrana, es uno de los refugios más importantes de numerosas especies de aves amenazadas como buitres negros, cigüeñas negras o águilas imperiales. Un total de 572 postes de líneas de 44 kV y de 13 kV de Iberdrola y particulares fueron seleccionados.

Figura 1. Áreas seleccionadas para el estudio de electrocución.





Para estimar la mortalidad se realizaron recorridos periódicos de los tramos seleccionados en cada zona en busca de víctimas de electrocución. Se consideraron electrocutadas todas aquellas aves encontradas bajo los apoyos y que presentaban señales de paso de corriente. En el caso de restos antiguos y dispersos se contabilizó siempre el menor número posible de aves a los que pudieran corresponder. Todos los restos fueron retirados y depositados en la Estación Biológica de Doñana para evitar posibles dobles registros en recorridos posteriores. Los recorridos se realizaron a pie. De cada tramo se realizaron siete revisiones, una inicial de limpieza y seis cada dos meses hasta completar el año de estudio. Los recorridos empezaron en septiembre de 1991 y terminaron esta fase en noviembre de 1992. Se realizaron pruebas de pérdida de cadáveres por carroñeros en cada una de las cinco zonas estudiadas con el objetivo de poder estimar la mortalidad anual real.

Respecto de los apoyos, dada la enorme cantidad de variantes se decidió establecer una clasificación sintética basada en los siguientes elementos:

- Función del apoyo
- Disposición de los conductores
- Material de construcción del pilar
- Tipo y disposición de los aisladores
- Presencia de puentes flojos
- Tipo de cruceta
- Presencia, tipo y disposición del seccionador

Durante el estudio se distinguieron 11 tipos de hábitat (eucaliptal, pinar, bosque mediterráneo, dehesa cerrada, dehesa abierta, erial o matorral, cultivo de secano, cultivo de regadío, arrozal, marisma y hábitat urbanizado). También se realizaron censos de aves de presa en vehículo, totalizándose más de 1.800 km a una velocidad de 40 km/h.

Los resultados de los censos indicaron que la mayor densidad de rapaces fue la registrada en Monfragüe, con 1,381 aves por km, seguido por Sierra San Pedro (0,845), el Entorno de Doñana (0,795), los Llanos de Cáceres (0,607) y, con la menor densidad de aves de presa por km, las Marismas del Odiel (0,283).

En cuanto a víctimas de electrocución, el total recogido, incluyendo el recorrido de limpieza, fue de 221 aves. De ellas, 124 fueron aves de presa, destacando un águila imperial en el entorno de Doñana y 40 ratoneros. De nuevo, tras las rapaces destacan los cuervos con 39 víctimas. Por especies, no se encontraron relaciones significativas entre los datos de censos y las víctimas, sugiriendo, como en el caso de la colisión, que no hay relación directa entre densidad y accidentes, probablemente porque el tipo de apoyo, su peligrosidad específica y su ubicación concreta son factores mucho más relevantes en la distribución de muertes.

Las estimaciones de pérdida por carroñeros fueron muy desiguales entre áreas, siendo en Sierra de San Pedro donde la velocidad de desaparición resultó más alta. En el caso de recorridos mensuales, en Sierra San Pedro sólo detectaríamos el 8,5% de las aves muertas mientras que en el entorno de Doñana, el porcentaje sería del 66,7%. Estos



datos refuerzan la necesidad de incluir un estudio específico de pérdida de cadáveres cada vez que se estudie la mortalidad ocasionada por una línea eléctrica, si es que se quiere tener una estima del impacto real en las poblaciones de aves.

El número total de aves muertas por poste recorrido resultó ser más alta en el entorno de Doñana y la más baja fue la de Sierra de San Pedro (tabla 1). Los resultados de mortalidad por hábitats se presentan en las tablas 2-6. Al igual que en el estudio en Doñana, los paisajes menos transformados (bosque mediterráneo) resultaron ser los emplazamientos más peligrosos para una línea eléctrica. En cuanto a los resultados según el diseño del poste y la disposición de aisladores se presentan en las tablas 2-6. De nuevo, el aislador rígido resultó mucho más peligroso que el suspendido, el puente flojo por debajo de la cruceta mucho más seguro que el puente por encima y la presencia de seccionador del corte al aire en cabecera del apoyo resultó un diseño muy peligroso.

**Tabla 1. Víctimas de electrocución encontradas.**

Especie /Área	Doñana	Cáceres	Monfragüe	Odiel	Sierra de San Pedro	TOTAL
Azor			1		1	2
Águila imperial	1					1
Búho real				1		1
Garcilla bueyera	8			2		10
Ratonero común	26	7	4	3		40
Cigüeña blanca	8	3		16		27
Cigüeña negra					1	1
Águila culebrera			1			1
Cuervo	13	11	11	4		39
Grajilla		1		1		2
Rabilargo				1		1
Halcón peregrino	4					4
Cernícalo vulgar	3	2				5
Buitre leonado			1			1
Águila perdicera					1	1
Gaviota sombría				1		1
Milano negro	16	1				17
Milano real	13	9	2		1	25
Milano sp.	7	4			2	13
Urraca		1				1
Cárabo común	5			3		8
Estornino negro			1			1
Lechuza común	6					6
Avefría		2				2
Indeterminada	5	1	1	3	1	11
<b>TOTAL</b>	<b>115</b>	<b>42</b>	<b>22</b>	<b>35</b>	<b>7</b>	<b>221</b>

**Tabla 2. Víctimas/año estimadas por categoría de postes con distinto aislador.**

Aislador	Media/año	Nº postes
Suspendido alineación	0,033	1.460
Amarre puente por debajo	0,102	204
Rígido alineación	0,305	971

**Tabla 3. Víctimas/año estimadas para postes con distinto diseño básico de la cruceta.**

Tipos básicos del apoyo	Media/año	Nº postes
Poste de alineación con aisladores suspendidos	0,032	1.475
Poste de alineación con aisladores rígidos	0,381	1.130
Poste de amarre con puentes por debajo	0,120	332
Poste de amarre con puentes por encima	1,120	52
Poste con seccionador en cabecera	0,238	25

**Tabla 4. Víctimas/año estimadas para postes con distinta disposición de puentes.**

Puente	Media/año	Nº postes
Sin puente	0,142	2.431
Al menos un puente por encima de la cruceta	1,057	190
Todos los puentes por debajo de la cruceta	0,109	287

**Tabla 5. Víctimas/año para postes con distintos tipos de seccionador.**

Seccionador	Media/año	Nº postes
Sin seccionador	0,192	2.779
Seccionador tripolar en cabecera	0,238	25
Seccionador tripolar en vástago	0,177	93
Seccionador unipolar debajo cruceta	0,000	73
Seccionador unipolar encima cruceta	0,000	8

**Tabla 6. Víctimas/año estimadas para postes con pilares de distinto material.**

Material del pilar	Media/año	Nº postes
Metal	0,189	1.346
Hormigón	0,223	1.292
Madera	0,106	376



Es interesante señalar que los apoyos con un diseño peligroso acumularon más víctimas en comparación con otros apoyos durante los recorridos anuales que la que se acumuló en el recorrido de limpieza inicial. Una explicación podría ser que los carroñeros aprendan donde aparecen víctimas con mayor frecuencia y visiten más los apoyos peligrosos que los seguros, teniendo por tanto una mayor tasa de desaparición de cadáveres los apoyos peligrosos que haría que infravalorásemos su peligrosidad en un único recorrido por la línea.

## Ensayos en laboratorio

Los trabajos de laboratorio tuvieron como objetivo efectuar una selección previa de dispositivos adecuados para prevenir la electrocución en apoyos con diseños que eran utilizados en las líneas de distribución. Se pretendía testar la eficacia de un amplio catálogo de soluciones para diferentes apoyos ya instalados, con lo que se buscaba además que fuesen de bajo coste, incluida la instalación, dado que se pretendía que se pudiesen colocar en un elevado número de postes. Conviene señalar, sin embargo, que los ensayos en laboratorio no garantizaban la bondad definitiva de ningún dispositivo, bondad que sólo se demostraría tras una prueba real en el campo, sino que tan sólo permitían ensayar un elevado número de dispositivos en poco tiempo y descartar aquellos que eran francamente inadecuados, reduciendo así el número total de pruebas en el campo. Con los experimentos se ha pretendido caracterizar el uso de diferentes apoyos por parte de las aves y comprobar el efecto que sobre el uso de zonas peligrosas podían tener diferentes dispositivos de protección.

Para el desarrollo del experimento se contó con una jaula de grandes dimensiones situada en el centro de recuperación de aves de ICONA, situada en el Parque Nacional de Doñana (el Acebuche). En su interior se instalaron dos vástagos de unos 4 metros de altura con los conductores entre los dos apoyos, formando un pequeño vano. En estos vástagos se acoplaron diferentes tipos de crucetas para desarrollar el experimento.

Para testar la eficacia de las distintas medidas, cada experimento se realizó modificando sólo uno de los dos apoyos presentes en el interior de la jaula, quedando el otro apoyo como control. Para eliminar la posible influencia de la localización del apoyo modificado dentro de la jaula sobre la frecuencia de uso por las aves, las modificaciones se probaron alternativamente en ambos postes, por periodos de tiempo de igual duración, contando siempre con el otro apoyo como control.

La recogida de datos sobre el uso del poste por las aves se realizó grabando de forma continuada el comportamiento de las mismas, utilizando dos cámaras de video, cada una enfocando a un apoyo. Las filmaciones se analizaron en un monitor de alta calidad de

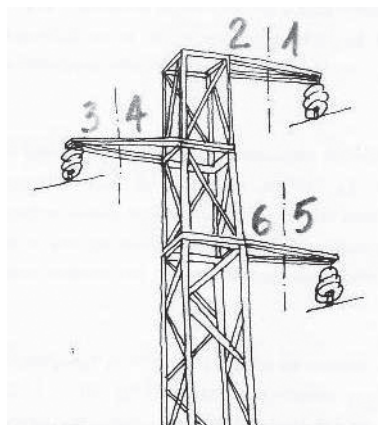


reproducción que permitió realizar paradas de imagen y reproducción a baja velocidad. La información recogida en cada periodo de filmación fue: especie que utiliza el poste, zona del apoyo que utiliza y tiempo que permanece posada en el mismo punto. Como apoyo a la grabación de imágenes, en los últimos ensayos se contó con un dispositivo desarrollado por el Dr. Núñez de Celis que informaba mediante una señal luminosa del momento en que el ave intercepta un haz de luz infrarroja situado en el lugar del cable.

Con la colocación de medidas disuasorias en los apoyos, lo que se pretende conseguir es que las aves varíen la intensidad de uso de las partes más peligrosas de los apoyos, siendo más usadas las partes menos peligrosas. De ser eficaces en el laboratorio se debería detectar una variación significativa del uso de las diferentes partes del poste entre el poste modificado y el poste control.

Las aves empleadas para realizar los ensayos fueron milanos reales, milanos negros y ratoneros comunes, como representantes de las rapaces de tamaño medio; cernícalos vulgares como rapaces pequeñas y águilas perdiceras como rapaces de gran talla. Ocasionalmente se usaron cigüeñas comunes y águilas culebreras. Las aves estaban en proceso de recuperación en el centro y tenían una buena capacidad de vuelo durante los experimentos. De hecho, la jaula del experimento se utilizó como jaula de vuelo presuelta de ejemplares recuperados. Los experimentos se realizaron con muchas aves distintas de las especies citadas para evitar en lo posible que características individuales en la selección de la zona de posada pudiesen afectar a los resultados.

En el laboratorio se ensayaron cuatro tipos básicos de apoyos, tres de alineación (tresbolillo suspendido, tresbolillo rígido y montaje uno con aislador rígido) y un seccionador tripular en cabecera de apoyo. En total se grabaron 917 horas y 23 minutos efectivas. La variable cuantificada fue el número de posadas por minuto en distintos lugares del apoyo. La variable tenía una distribución normal, con lo que se aplicaron métodos paramétricos en su análisis (análisis de la varianza).

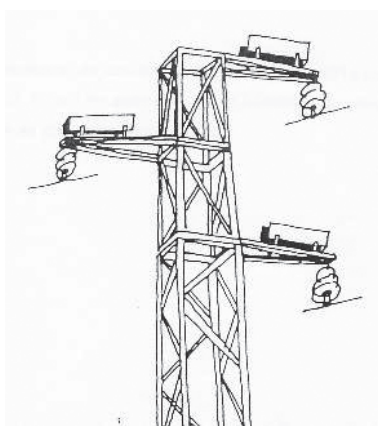


**Figura 1. Poste al tresbolillo con aisladores suspendidos**



Para el estudio de las posibles variaciones en la frecuencia de uso de las diferentes zonas del apoyo, el poste al tresbolillo con aisladores suspendidos se consideró dividido en seis zonas que se muestran en la figura. La frecuencia global de uso del apoyo no varió entre las diferentes especies de rapaces medianas empleadas. Aparecieron, sin embargo diferencias de uso entre las diferentes partes del apoyo, siendo más usado el travesaño superior. Agrupando según peligrosidad, no aparecieron diferencias, indicando que utilizan más el travesaño superior pero con igual frecuencia la zona más distal del mismo que la zona más próxima al vástago, y por tanto más segura. La parte del poste menos usada fue la parte interna del travesaño medio.

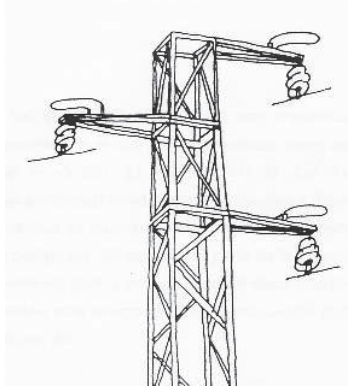
En el caso de rapaces pequeñas, no se encontraron diferencias significativas en el uso de las diferentes partes del apoyo, tampoco en el uso de las partes peligrosas comparadas con las más seguras. El uso de este tipo de postes por parte de las rapaces pequeñas fue indiscriminado. En el caso de las rapaces de gran tamaño, se detectó un uso diferencial del apoyo, siendo de nuevo, como en las rapaces medianas, el travesaño superior el más usado. Tampoco en este caso se encontraron diferencias en el uso de las partes más peligrosas y las menos peligrosas del apoyo. Así pues, las rapaces medianas y grandes usan preferentemente el travesaño superior, en toda su longitud, mientras que las pequeñas utilizan todo el apoyo de forma más equilibrada.



**Figura 1.1. Pletina**

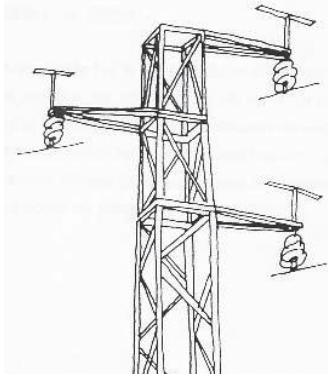
La modificación consistió en la instalación de planchas rectangulares de PVC de 15 cm de altura, colocadas sobre los travesaños de forma longitudinal y en su parte más externa, con la intención de evitar que las aves se posasen en la parte peligrosa del travesaño. Los resultados con rapaces medianas demostraron que no teníamos ningún efecto sobre selección diferencial de las partes del apoyo ni de las zonas peligrosas.





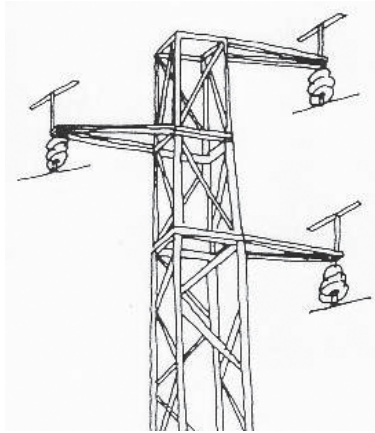
**Figura 1.2. Barandilla**

La medida consiste en la instalación de una varilla de hierro en la parte externa de los tres travesaños, paralela a los mismos, a 15 cm de altura y con un diámetro de 6 mm. Con este sistema se pretendía que las aves no usasen la parte distal, y más peligrosa de los travesaños. Para las rapaces medianas, se consiguió una diferencia significativa del uso de las partes más peligrosas, haciendo que las aves usasen con mayor intensidad la parte de los travesaños más alejadas de los conductores y más cercana al vástago. Lo mismo ocurriría con pequeñas y con grandes rapaces. Con la instalación de las barandillas conseguiríamos una reducción estimada de la mortalidad de un 63%. Experimentos llevados a cabo con Iberdrola en apoyos de bóveda ofrecieron resultados similares.



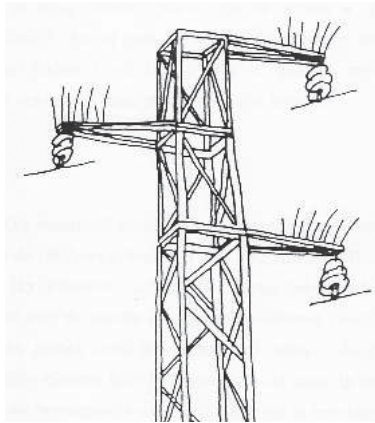
**Figura 1.3. Posadero en punta paralelos al travesaño**

La colocación en el extremo distal de los tres travesaños, sobre la vertical del aislador, de posaderos en forma de “T” de 35 cm de altura, pretendía evitar que las aves usasen la zona peligrosa de la cruceta y utilizarasen los posaderos. Los resultados obtenidos con rapaces medianas demostraron que no se produce una selección diferencial entre los dos postes del experimento. Considerando que si el ave estaba posada en el posadero, era una zona segura, de nuevo no hubo diferencias significativas al seleccionar con frecuencia la punta del travesaño para posarse incluso con el posadero instalado. Aunque se detectó una tendencia a disminuir el uso de zonas peligrosas, los resultados no fueron significativos, considerando la medida no eficaz.



**Figura 1.4. Posadero en punta paralelo a los cables**

Similar a la anterior pero con el travesaño del posadero colocado perpendicular a la cruceta. Tampoco en este caso se consiguió un cambio en la frecuencia de uso de las partes peligrosas del apoyo por lo que la medida fue desechada.



**Figura 1.5. Abrazaderas**

Se colocaron en la parte externa de cada cruceta 12 tirantes de PVC de 20 cm de altura dispuestos a modo de "peine", con la intención de que las aves no usaran la parte distal y peligrosa de las crucetas. Los resultados demostraron que las rapaces medianas utilizaban con igual frecuencia el poste modificado y el control, pero en este último se producía una variación significativa en el uso de las diferentes partes del mismo. Con el uso de abrazaderas, la utilización de las zonas peligrosas disminuyó un 74%. En el caso de las rapaces de pequeño tamaño este sistema no tendría efecto sobre la electrocución de rapaces de esta talla. En el caso de grandes rapaces, de nuevo los resultados indicaban una disminución significativa del uso de zonas peligrosas en un 66%.

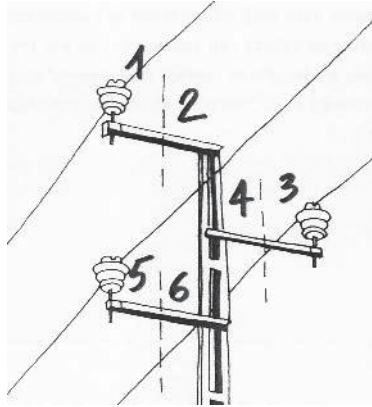


Figura 2. Poste al tresbolillo con aisladores rígidos

Para el estudio de posibles variaciones de uso, el apoyo al tresbolillo con aisladores rígidos se dividió en zonas de forma similar al anterior. Se encontraron diferencias significativas en el uso de las diferentes partes de apoyo. Las aves utilizaron preferentemente el travesaño superior, sobre todo la parte interna, siendo el travesaño medio en su parte interna la zona menos usada. El 63% de las aves que usaron el travesaño superior en su parte externa se posaron directamente sobre el aislador.

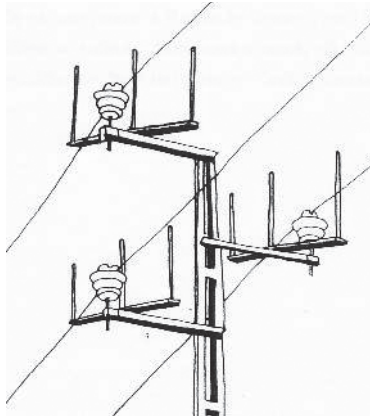


Figura 2.1. Disuasores de varillas en ángulo con el travesaño

Es una medida disuasoria cuyo objetivo es evitar que las aves usen las zonas más peligrosas del poste. Consiste en una regleta de 50 cm a la que van unidas tres varillas de material aislante de 40 cm de longitud, dispuestas a modo de “peine”. Este “peine” se colocaba a 20 cm del extremo distal de la cruceta, formando un ángulo de 60°. No se detectaron diferencias de uso con respecto al poste control pero tampoco se consiguió variar la frecuencia de uso de las zonas peligrosas en el poste modificado. La colocación de las varillas no impedía el contacto de alas y cola con el travesaño mientras usaban el aislador como posadero. En conclusión, esta medida no era recomendable.

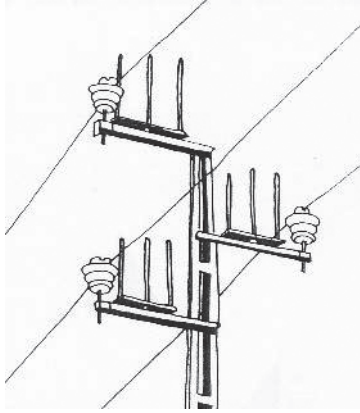


Figura 2.2. Disuasor de varillas en paralelo al travesaño

Era similar a la anterior pero con las varillas colocadas de forma paralela al travesaño. De nuevo, no hubo cambio en la intensidad de uso con respecto al poste control. Desafortunadamente, tampoco hubo cambios en la intensidad de uso de las zonas peligrosas, con lo que resultó ser una medida poco recomendable.

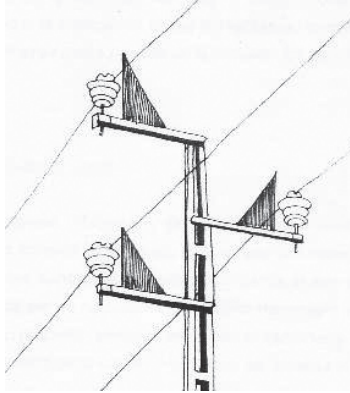
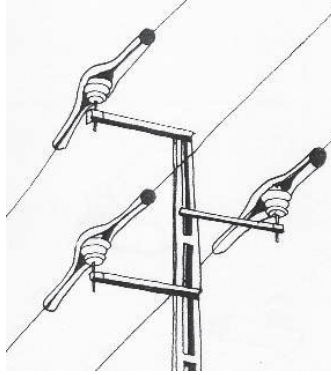


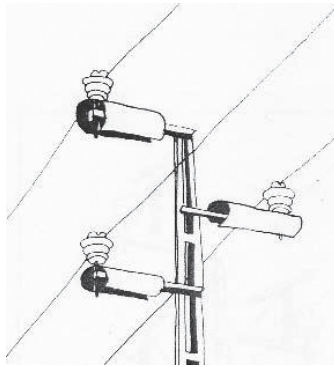
Figura 2.3. Disuasor triangular de PVC

Consistía en un pequeño triángulo rectángulo de 30 cm de base y 50 cm de altura colocado en el extremo distal de la cruceta, junto al aislador. El triángulo era de PVC y plano, y estaba colocado con el ángulo recto cercano a la base del aislador. Tras la instalación de la medida se comprobó un uso diferencial de las aves entre el poste modificado y el control, disminuyendo significativamente el uso del poste modificado. Sin embargo, no existieron diferencias significativas en el uso de zonas peligrosas del apoyo excepto que con el sistema colocado, las aves usaban más el aislador como posadero, siendo posible el contacto con alas o cola con el travesaño. En conclusión, el sistema por sí sólo no es recomendable.



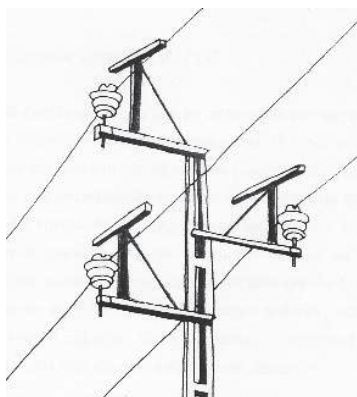
**Figura 2.4. Tubo de PVC para aislador y cable**

Esta medida pertenece a un grupo diferente de las ensayadas hasta ahora. Su intención no es que las aves modifiquen su uso del apoyo sino que el apoyo sea seguro para las aves lo usen como lo usen. El prototipo ensayado estaba constituido por un tubo de PVC termo-conformado para que ajuste al plato superior del aislador, cubriendo una porción de cable a cada lado del mismo (40 cm a cada lado). No se detectó un cambio en la intensidad de uso por parte de las aves entre el poste modificado y el control. Tampoco se encontraron diferencias en el uso del tubo frente al aislador desnudo. En conclusión, la bondad o no de este sistema dependerá de otros factores que no se analizaron en el experimento, como son su duración a la intemperie, su capacidad de aislamiento, etc. Suponiendo correctos estos factores, el sistema es recomendable.



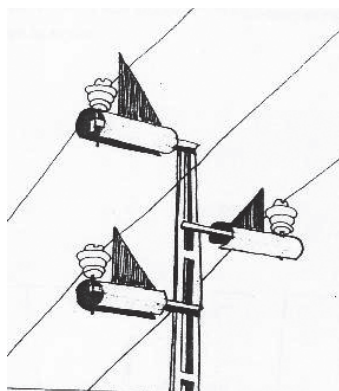
**Figura 2.5. Tubo de PVC para aislar el travesaño**

Se trataba de otra medida de aislamiento constituida por un tubo de PVC que se ajusta al travesaño sobresaliendo 10 cm por el extremo del mismo. Para posibilitar su instalación sin tener que desmontar el aislador (su colocación sería posible en tensión), el tubo está cortado longitudinalmente, teniendo en el lado opuesto una pequeña ranura donde ajusta el tronillo de sujeción del aislador. La longitud del tubo en la versión prototipo era de 70 cm. No se detectó ninguna variación en la intensidad de uso entre el poste control y el modificado, ni tampoco en las diferentes partes del apoyo y aislador con o sin la protección. Como en el caso anterior, si la duración y la capacidad de aislamiento del material utilizado son adecuadas, esta sería una medida recomendable.



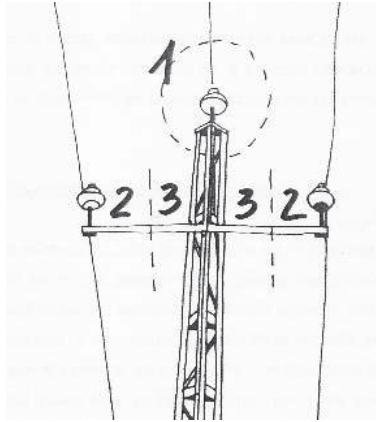
**Figura 2.6. Combinación de posaderos y tirantes**

Esta es una medida disuasoria que consiste en un pequeño posadero de 30 cm de altura colocado en los extremos distales de las crucetas y paralelos a los cables. Desde la parte alta de este posadero sale un tirante hasta la base de la cruceta. Cada travesaño está equipado con un posadero en punta y el tirante. No se detectaron diferencias de intensidad de uso con respecto al poste control, ni tampoco diferencias en el uso de las diferentes zonas, tan solo se aumentó el uso del aislador a costa del extremo distal del travesaño. En consecuencia, esta medida no es recomendable por sí sola.



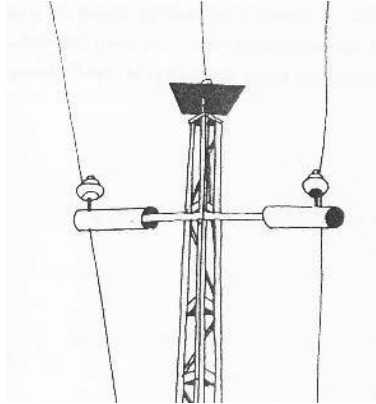
**Figura 2.7. Combinación de tubo y disuasor triangular de PVC**

Esta medida era el resultado de la combinación de dos ensayadas con anterioridad. El objetivo era solventar los problemas encontrados con el uso del triángulo solamente. Como ya se vio, con sólo este elemento disuasorio, el ave podía contactar desde el aislador con la cruceta. La combinación empleada consiguió que las aves usasen de forma más intensa el aislador. Al estar el travesaño protegido con el tubo, el contacto con tierra quedaba eliminado. Esta medida, supuesta la capacidad aislante del tubo, sería recomendable.



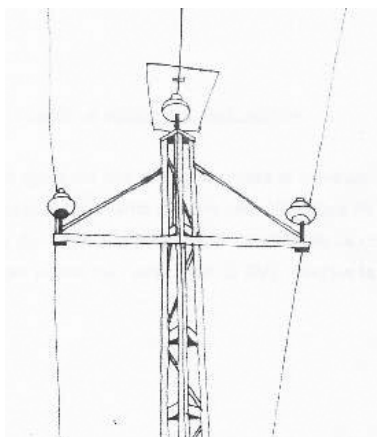
**Figura 3. Poste con montaje uno y aisladores rígidos**

Para el estudio de las posibles variaciones en la frecuencia de uso de diferentes zonas y dada la simetría bilateral de este modelo, el apoyo se consideró dividido en tres zonas. Se encontraron diferencias significativas en el uso por las aves de las diferentes partes del apoyo, existiendo una clara tendencia a la utilización de la zona central superior, seguida por los extremos distales del travesaño, es decir, las zonas más peligrosas eran las más usadas por las rapaces. En el uso de la zona externa, la mayoría de las aves eligieron el aislador como lugar de posada.



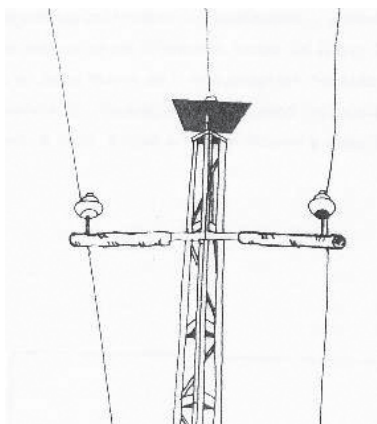
**Figura 3.1. Tubos de PVC en travesaño y placa bajo fase central**

Esta medida de aislamiento está constituida por tubos y placa de PVC. Los tubos estaban mecanizados como en un ensayo anterior para posibilitar su fácil encaje en el tornillo de sujeción del aislador, siendo su longitud en este ensayo de 70 cm. La placa se colocaba bajo el aislador de la fase central y sobresalía del vástago 5 cm por toda la superficie para evitar contactos de las aves posadas en el aislador central con el apoyo. Las aves no variaron su intensidad de uso con respecto al poste control. Tampoco hubo variaciones en la selección de las zonas dentro del apoyo. De nuevo, como en todas las medidas de aislamiento, si las características del producto son adecuadas, se trataría de medidas recomendables.



**Figura 3.2. Placa de PVC en fase central y tirantes laterales**

Con esta medida no se afectó el uso de los postes ni hubo variaciones en el uso de las diferentes partes del mismo. Consecuentemente se trataba de una medida no recomendable dado que los tirantes no conseguían su objetivo de disminuir el uso de la cruzeta en su zona de peligro.



**Figura 3.3. Láminas geotextiles en cruzeta y placa en central**

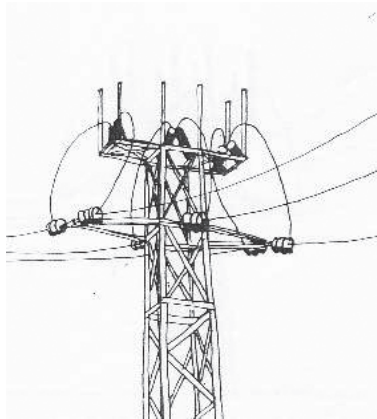
Similar al sistema de tubos pero con notables facilidades de montaje. Los resultados fueron similares y de nuevo si el material reúne los requisitos adecuados de resistencia y aislamiento eléctrico, es una medida recomendable.





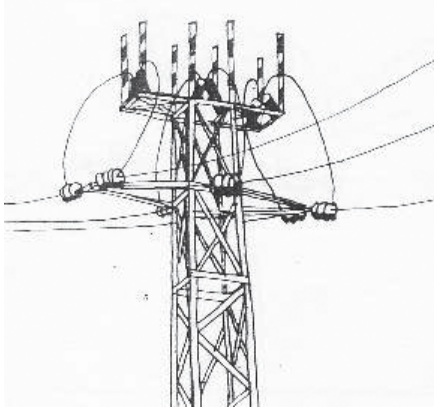
**Figura 4. Poste con seccionador tripolar en cabecera**

Para el estudio de la eficacia de medidas y dada la elevada peligrosidad y peculiar geometría de este poste, los ensayos fueron dirigidos a evitar su uso por las aves o bien a ofrecerles un sitio alternativo y seguro en el que posarse. En los ensayos previos, las aves utilizaron especialmente la zona central superior del apoyo, correspondientes a los fragmentos de cable, seguidos por los aisladores de porcelana abatibles, siendo las zonas externas del bastidor las menos usadas.



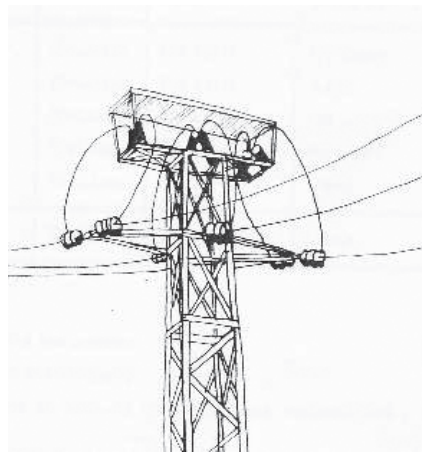
**Figura 4.1. Entramado de varillas de PVC blancas**

Esta medida de disuasión consiste en una serie de varillas de PVC blancas fijadas con regletas al bastidor sobre el que descansa el seccionador y dispuestas en vertical, sobresaliendo por encima de los bucles de cables del seccionador 40 cm. No hubo una disminución de uso del poste modificado por parte de las aves, con lo que esta medida no es recomendable.



**Figura 4.2. Entramado de varillas PVC coloreadas**

Igual que la anterior pero con las varillas coloreadas en bandas amarillas y negras, intentando aumentar el efecto disuasorio de las mismas. De nuevo los resultados fueron similares al anterior y por tanto poco recomendable.



**Figura 4.3. Mesa aislante**

Consistían en una cubierta de PVC rígido, con una superficie igual a la del bastidor y unida al mismo por cuatro patas fijadas a sus cuatro esquinas. La mesa se coloca a la altura mínima para permitir la operación del seccionador sin riesgo. Con esta medida, y evaluando con qué frecuencia las aves se posaban encima de la mesa, se obtenía una estima de la reducción del riesgo de electrocución de un 94%.

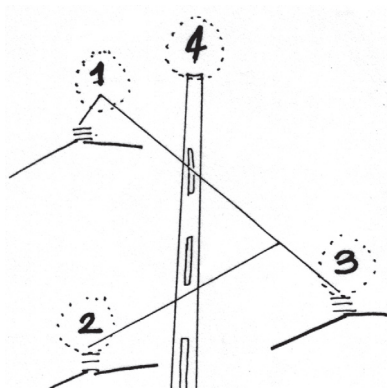


Figura 5. Nuevos diseños: poste canadiense

El objeto de este ensayo fue determinar si la peligrosidad de un nuevo diseño, conocido como apoyo canadiense, era menor que la menor de las conocidas hasta el momento: el apoyo al tresbolillo con aisladores suspendidos. En este nuevo apoyo, la disposición de los aisladores es al tresbolillo y suspendidos, con la peculiaridad de la inclinación de sus crucetas. Para el ensayo se utilizó como control el diseño clásico al tresbolillo. Los resultados demostraron que no hubo selección diferencial entre postes, siendo ambos usados con la misma frecuencia por las aves. Con el nuevo diseño se consiguió que las rapaces usasen con mayor frecuencia los sitios seguros. De hecho, las diferencias con el tresbolillo convencional fueron muy significativas, siendo el nuevo diseño más seguro para las aves. Los resultados indicaban que este tipo de poste era el más seguro de los ensayados. Su falta de peligrosidad parece ser dependiente del grado de inclinación de las crucetas y, sobre todo, de que la punta del vástago sobresalga por encima de la cruceta superior.

## Eficacia de sistemas antielectrocución

Uno de los objetivos principales perseguidos en el proyecto PIE era el desarrollo de medidas correctoras del impacto de los tendidos y la evaluación de su eficacia en condiciones reales de campo. En la primera fase del estudio de la electrocución se detectaron qué aspectos del diseño de los apoyos era clave para explicar su nivel de riesgo. En la segunda fase se hicieron estudios de laboratorio para seleccionar con ciertas garantías los dispositivos que se iban a ensayar en condiciones reales y con tensión en las fases. A pesar de la utilidad de los ensayos en laboratorio, sólo con la



prueba real en el campo podríamos confirmar la reducción de la mortalidad obtenida con sistemas de protección alternativos. Éste era el objetivo de esta tercera y última fase del estudio de la electrocución.

De los 3.014 postes revisados en la primera fase, unos 500 fueron seleccionados para las pruebas de eficacia de medidas antielectrocución en el campo. El tamaño de muestra, es decir, el número mínimo de postes a modificar para poder detectar hipotéticas reducciones en la mortalidad como consecuencia de la aplicación de medidas correctoras, se calculó atendiendo a la mortalidad observada por tipo de poste y hábitats. Para ello se estimó el tamaño de muestra mínimo necesario para detectar diferencias significativas superiores al 70% entre las medias de las distribuciones de muertes antes y después de la instalación de las protecciones. Esta estimación se realizó asumiendo un error de tipo I igual al 5% ( $\alpha = 0,05$ ) y un error tipo II también del 5% ( $\beta = 0,05$ ) así como una homogeneidad entre años en la distribución de muertes. Cuanto menor sea la mortalidad de un poste mayor deberá ser el tamaño de muestra para detectar diferencias significativas con los niveles de error fijados. Se eligieron aquellos tramos que, presentado un número suficiente de apoyos, mostraran mayores valores medios y menor varianza. En general, los tramos que reunieron estos requisitos se localizaron en el entorno de Doñana y en las Marismas del Odiel.

La selección de postes para la prueba se realizó en base a su diseño. Una parte de los apoyos se modificaron y otros se dejaron de control para eliminar la posibilidad de variaciones interanuales. La mayoría de los postes se modificaron en Doñana (232), Odiel (11) y Llanos de Cáceres (28). Las líneas de control se eligieron lo más cerca posible de los tramos modificados. En ambas líneas, modificadas y no modificadas, se hicieron recorridos mensuales para estimar la mortalidad.

En general, los dispositivos ensayados eran de tres tipos principales: aislamiento de conductores, aislamiento de crucetas y disuasorios de posada. En los apoyos con aisladores suspendidos se ensayaron abrazaderas, triángulos y barandillas. En apoyos con aisladores rígidos se emplearon forros aislantes del cable y manta geotextil para aislamiento de cruceta junto a placa bajo aislador de la fase central. En apoyos de amarre con puentes flojos por debajo del travesaño se ensayaron las pletinas. En puentes flojos por encima se aislaron con funda y, por último, en apoyos con seccionador en cabecera se ensayaron las varillas de PVC blancas.

Para el estudio de su eficacia se han comparado las víctimas encontradas en los mismos postes antes y después de su protección, comparando la mortalidad entre postes protegidos y de control. De promedio se revisaron 388 postes por mes.



## ***Resultado de las medidas según tipo de postes***

### **1. Aisladores suspendidos**

- Tipo de poste: tresbolillo
- Medida: triángulo, abrazadera y barandilla (analizados conjuntamente dado el bajo número de víctimas)
- Víctimas en postes control (antes-después): 0-2
- Víctimas en postes modificados (antes-después): 3-1
- No significativo
- Reducción de la pendiente de acumulación del 50%

### **2. Aisladores rígidos**

- Tipo de poste: montaje cero
- Medida: forro rígido aislante
- Víctimas en postes control (antes-después): 7-12
- Víctimas en postes modificados (antes-después): 7-1
- Reducción significativa
- Reducción de la pendiente de acumulación del 84%

### **3. Aisladores rígidos**

- Tipo de poste: montaje uno
- Medida: manta aislante en cruceta y placa bajo fase central
- Víctimas en postes control (antes-después): 7-12
- Víctimas en postes modificados (antes-después): 7-1
- Reducción significativa
- Reducción de la pendiente de acumulación del 84%

### **4. Aisladores amarre con puente por debajo**

- Tipo de poste: tresbolillo de amarre
- Medida: pletinas
- Víctimas en postes control (antes-después): 0-3
- Víctimas en postes modificados (antes-después): 1-2
- No significativa
- Reducción de la pendiente de acumulación del 0%

### **5. Aisladores amarre con puente por encima**

- Tipo de poste: montaje uno
- Medida: manta aislante en puente y pletinas en cruceta



- Víctimas en postes control (antes-después): 5-13
- Víctimas en postes modificados (antes-después): 16-2
- Reducción significativa
- Reducción de la pendiente de acumulación del 91%

## 6. Seccionador en cabecera

- Tipo de poste: seccionador
- Medida: varillas
- Víctimas en postes control (antes-después): 1-5
- Víctimas en postes modificados (antes-después): 1-4
- No significativa
- Reducción de la pendiente de acumulación del 0%

Se puede afirmar que la fase de colocación y prueba de medidas antielectrocución funcionó satisfactoriamente. Así, algunas medidas han demostrado su eficacia y otras sin embargo su inutilidad. En general, las medidas disuasorias ensayadas sobre postes al tresbolillo han sido de escasa utilidad. Los resultados obtenidos no recomiendan la modificación masiva de este tipo de postes con las medidas ensayadas, a menos que algunos postes en concreto supongan una amenaza cierta sobre rapaces de gran tamaño. El apoyo al tresbolillo con aisladores suspendidos es de por sí un poste seguro con escasa mortalidad, por lo que tal vez sea preferible invertir tiempo y dinero en la modificación de postes con otros diseños realmente peligrosos.

En el caso de puentes flojos, el aislamiento del mismo cuando está situado por encima del travesaño (montaje uno, por ejemplo) se ha revelado como una medida muy eficaz. Sin embargo, tal y como se adelantó en las pruebas de laboratorio, el uso de varillas disuasorias en seccionadores colocados en cabecera del apoyo ha resultado inútil. Por su parte, las medidas instaladas sobre aisladores rígidos se han mostrado plenamente eficaces en la reducción de la mortalidad. Los postes seccionadores en cabecera pueden ser modificados con la colocación del seccionador en el vástago, no dejando que ningún puente sobrepase la cruceta. Aunque no es una medida económica, teniendo en cuenta la peligrosidad de este diseño y el escaso número de apoyos que lo presentan, es sin duda lo más recomendable.

En los resultados tras las modificaciones llama la atención el relativo incremento de la proporción de aves de tamaño pequeño frente a lo recogido en postes sin modificar. Estos resultados se podían intuir de los resultados de laboratorio y el estudio del uso de los postes por parte de aves de diferentes grupos de tamaños. Ya comprobamos que las aves pequeñas utilizaban los apoyos de forma diferente a las medianas y grandes, particularmente los travesaños inferiores. Las medidas diseñadas posiblemente resultaban más eficaces para aves de mediano y gran tamaño. Por lo tanto, cuando se plantee la protección específica de aves de tamaño más pequeño, habrá que considerar una protección más completa de los apoyos.



Las conclusiones más relevantes del estudio de la electrocución se pueden resumir como sigue:

- 1) La manera en que se efectúen los muestreos en busca de víctimas de electrocución puede condicionar la validez de los datos obtenidos. Así, los resultados de un único recorrido de limpieza no son buenos estimadores de la mortalidad anual, aunque permiten la identificación de puntos negros en la red de distribución.
- 2) Las comparaciones entre tasas de mortalidad en zonas diferentes sólo es posible si se dispone de estimaciones de pérdidas por carroñeros.
- 3) Las rapaces y los córvidos son los grupos de aves más propensos a sufrir accidentes de electrocución. Hay diferencias dentro de estos grupos en función de los tamaños y del uso de postes.
- 4) La abundancia de aves en el entorno de las líneas eléctricas no es un factor que condicione directamente el número de víctimas. Éste dependerá más de la composición específica de la avifauna y de las características técnicas del tendido.
- 5) Las variaciones detectadas entre hábitats en la mortalidad se deben a variaciones en la composición de las comunidades de aves y de la densidad y actividad de la comunidad de carroñeros.
- 6) La presencia de puentes flojos por encima de los travesaños y de aisladores rígidos son las características que confieren mayor peligrosidad a un diseño de poste.
- 7) El tipo de diseño de la cabecera del apoyo es responsable de pequeñas variaciones en la mortalidad, una vez controlados los factores anteriores.
- 8) El material de construcción del apoyo influye en la peligrosidad pero es menos relevante que la disposición de elementos en tensión por encima de las crucetas.
- 9) Las medidas antielectrocución basadas en el aislamiento de conductores son muy eficaces en la reducción de muertes, mientras que las medidas disuasorias tienen poco o ningún efecto. El aislamiento de crucetas es una buena alternativa al aislamiento de los conductores.







## 8. El proyecto PIE: conclusiones y algo más

Las conclusiones de esta larga investigación serían un referente ineludible en la ejecución de proyectos concretos de conservación de la avifauna mediante la reducción de la peligrosidad de tendidos existentes, el diseño de nuevos tendidos eléctricos o la elaboración y aplicación de normativas legales durante décadas. Como resultados del proyecto hubo numerosas publicaciones científicas (Janss y Sánchez 1997, Janss 1998, Janss y Ferrer 1999, Janss et al. 1999, Janss y Ferrer 1999, Janss 2000, Janss y Ferrer 2000, Janss y Ferrer 2001), divulgativas (Ferrer et al. 1993, Janss et al. 1996) así como comunicaciones en congresos (Ferrer et al. 1993, Janss y Sánchez 1994, Ferrer y Janss 1996, Janss y Ferrer 1996a; 1996b, Janss et al. 1996, Janss 2000), publicaciones en forma de libros (Ferrer y Janss 1999) o manuales técnicos (Manual técnico, 1996) e incluso una tesis doctoral defendida en la universidad de Utrecht, Holanda (Janss 2001). En el proyecto PIE se realizaron más de 21.000 revisiones de apoyos en el conjunto de las áreas de trabajo y se registraron 520 vanos (tramos entre postes), totalizando cerca de 10 millones de metros cuadrados de terreno prospectado en busca de víctimas de colisión. Fue, y sigue siendo, el proyecto más ambicioso y riguroso que se haya realizado en el mundo sobre el efecto de las líneas eléctricas en la avifauna. Como fruto de la colaboración entre los distintos agentes implicados, el proyecto culminó con éxito en 1995. Los resultados de esta investigación ofrecían, por primera vez, a todos los afectados directa o indirectamente por esta problemática, en España o en otros países, un marco fiable para afrontar las soluciones que mejor se adaptasen a cada caso.

Entre todos los factores condicionantes de la electrocución de las aves, destacó en primer lugar, las características técnicas de los apoyos. La evaluación de las dimensiones del problema y la acumulación de datos que relacionaban los accidentes con los tipos de poste se enfrentaban a la ausencia de normalización en el diseño de éstos. Sólo en el ámbito del estudio se contabilizaron más de ochocientos tipos. El análisis identificó qué aspectos eran relevantes desde el punto de vista de accidentes de aves. El material de construcción del poste, la disposición de los aisladores o la presencia de puentes flojos por encima de la cruceta superior se revelaron como las características más determinantes de la peligrosidad. Los pilares de madera sin cables de derivación a tierra fueron mucho más seguros que los de celosía de metal. Los aisladores rígidos frente a los suspendidos confieren una gran peligrosidad a los postes y los puentes por encima de cruceta, ya sea en postes de amarre o en seccionadores, provocan un riesgo elevadísimo de electrocución.



Otras características de los apoyos, como la disposición de los conductores, la presencia de puentes flojos por debajo de los travesaños o los seccionadores situados en el vástago, son responsables de variaciones menores en la peligrosidad de los apoyos. En este sentido, la presencia en un poste de alguna de las características más peligrosas puede ocasionar una mortalidad de aves hasta 35 veces superior a la estimada para un poste igual sin dichas características.

El análisis del riesgo de electrocución en función del diseño del apoyo permitió establecer una clasificación de todos los diseños conocidos en categorías de peligrosidad. Esta clasificación sería de enorme importancia en el análisis a priori de la peligrosidad de cualquier red de distribución y por tanto en la selección de actuaciones de corrección.

En el proyecto se puso de manifiesto la falta de relación clara entre la densidad de aves y número de accidentes, tanto en el caso de colisión como en el de electrocución, lo que no quiere decir que no haya ninguna. Obviamente para que haya accidentes tiene que haber aves. Lo que significa es que existen otros factores cuyo influencia en el riesgo de accidente es mucho más relevante que las variaciones en la densidad local de aves: en un sitio con muchas rapaces y diseño de apoyos seguro hay muchos menos accidentes que en otra zona con muchas menos rapaces pero cuyos diseños de apoyos sean muy peligrosos.

El ensayo en laboratorio usando aves cautivas fue refrendado por los resultados de campo, cuando las medidas se instalaron en condiciones reales. Incluso predicciones de matiz, como el aumento relativo del riesgo de electrocución en rapaces medianas con la instalación de algunas de las medidas, fue confirmado por los datos de campo. Esto significa que se puso a punto un original y robusto sistema que permite testar cualquier nuevo dispositivo o diseño de apoyo desde el punto de vista de seguridad para las aves, con rapidez, precisión, en condiciones controladas y con bajo coste. Las experiencias en laboratorio demostraron que en líneas de simple circuito, el apoyo al tresbolillo con aisladores suspendidos y, sobre todo, el conocido como apoyo “canadiense” (aisladores suspendidos con disposición de los conductores al tresbolillo y con crucetas inclinadas) son los más seguros para todo el conjunto de especies. Esta comprobación permite afirmar que existen diseños de postes adecuados para minimizar el riesgo de electrocución en los tendidos de nueva instalación.

En general, las medidas antielectrocución destinadas a aislar elementos en tensión dieron mejores resultados que las medidas de disuasión, que buscan obstaculizar el uso de determinadas partes del apoyo por las aves. El aislamiento de crucetas y conductores, en los postes con aisladores rígidos, así como la protección de toda la estructura del seccionador, en los postes de seccionador tripolar en cabecera, resultaron las medidas más eficaces. En cualquier caso, las medidas antielectrocución no resultaron igualmente eficaces para todo tipo de especie, así la mortalidad de las rapaces pequeñas se redujo en menor medida que la de rapaces de mayor tamaño en los postes protegidos. La eficacia permanente de las medidas se encuentra condicionada, en todo caso, por la durabilidad de los materiales y la permanencia de las condiciones de aislamiento de los dispositivos. Por ello, es muy importante que se establezcan procedimientos de seguimiento y control para garantizar la consecución de los efectos perseguidos con estas medidas, y emplear cuando sea posible, dispositivos poco sensibles a la degradación.



Los trabajos desarrollados en relación con el riesgo de colisión demostraron que la incidencia global de los tendidos eléctricos de transporte sobre las aves se revela proporcionalmente baja, espacialmente muy localizada y, hasta cierto punto, fácilmente solucionable mediante la señalización del cable de tierra o los conductores. Su mayor impacto se asocia a la presencia de poblaciones de especies muy susceptibles de sufrir este tipo de accidentes. Los resultados de la investigación demostraron que existen especies poco susceptibles de sufrir colisión (rapaces y córvidos, por ejemplo) y otras muy propensas a este tipo de accidente (avutardas, sisones, grullas comunes, flamencos, cigüeñas y ciertas acuáticas), por las características de su vuelo, tamaño y comportamiento gregario, o por su tendencia a formar concentraciones temporales en lugares de cría y/o alimentación. De las tres medidas anticolidión experimentadas, la instalación de espirales blancas de 30 centímetros de diámetro -dispuestas en el cable de tierra al tresbolillo cada 10 metros- se ha revelado la más eficaz.

La investigación permitió aplicar una metodología específica para la identificación de la incidencia de los tendidos eléctricos sobre la avifauna, con muestreos adecuados y un tratamiento científico riguroso de los datos recogidos en el campo. Se consiguió caracterizar la muerte de aves, determinar su magnitud e identificar las especies y grupos más sensibles. También se pudo analizar la influencia de distintos factores sobre las tasas de mortalidad y ensayar un catálogo de medidas correctoras para proponer, finalmente, las más eficaces. De ahí que los resultados obtenidos y las soluciones propuestas constituyeran una referencia fundamental para cualquier actuación futura en esta materia.

La limitación de las áreas de estudio a espacios naturales protegidos y el mayor detalle del trabajo sobre especies que pertenecían al grupo de las amenazadas, protegidas o en peligro de extinción, no resta validez general a los resultados. Al contrario, estos resultados pueden aplicarse a cualquier espacio y al conjunto de especies de aves. El trabajo tenía un enorme interés para los organismos públicos implicados en la conservación del patrimonio natural, las entidades conservacionistas, las propias compañías eléctricas y la empresas que instalan tendidos para particulares, que pueden encontrar en sus conclusiones soluciones fiables y de bajo coste para suprimir o mitigar el impacto de los tendidos sobre las aves y, al mismo tiempo, resolver los problemas asociados en la operación y mantenimiento de las redes.

Muchas acciones emprendidas hasta entonces para la protección de la avifauna del impacto de los tendidos eléctricos no estaban apoyadas en estudios previos que avalaran con suficientes garantías las medidas correctoras de las que se disponía. Esta incertidumbre motivaba retrasos continuos en su adopción. Los dispositivos comerciales antielectrocución tenían una eficacia muy discutible, mientras que la mayoría de las soluciones correctoras, como el enterramiento de las líneas o la utilización de cables trenzados, eran complejas y caras.

En ese sentido, al comienzo de los estudios en laboratorio para ensayar la eficacia de sistemas antielectrocución, uno de los ingenieros de una compañía eléctrica de las que participaba en el proyecto, convencido de que en España nunca inventábamos nada y que todo estaría ya hecho por alguien de fuera, convocó una reunión con la compañía



francesa EDF, que acababa de sacar un bonito folleto de sistemas antielectrocución para las aves. Durante la exposición de EDF, yo pregunté sencillamente en cuantos apoyos habían testado la eficacia de sus sistemas y cuál había sido el porcentaje de reducción de accidentes que habían conseguido. El ingeniero francés me miró sorprendido: en su opinión, como se trataba de “soluciones”, no había nada que comprobar, funcionaban y punto. Una de sus medidas estrella era la colocación de varillas de PVC blanco en seccionadores en cabecera que, cuando lo colocamos en los ensayos de campo, no produjo la menor reducción en la mortalidad de ese peligrosísimo poste.

En contraste, las soluciones propuestas por el PIE eran sencillas, de eficacias comprobadas y baratas, siendo posible instalarlas en un gran número de postes con costes reducidos en materiales y tiempos de ejecución. Los prototipos de protección experimentados estaban ensayados para su uso en líneas ya existentes y de forma universal, con independencia del tipo de poste o tensión.

Las compañías eléctricas promotoras de la investigación adoptaron las conclusiones preliminares del estudio incluso antes de su finalización. Sus tendidos se encuentran ya entre los más seguros de nuestra geografía, un hecho que contrastaba con la elevada peligrosidad de los tendidos de distribución de particulares. La resolución de este problema reclamaba la intervención de la Administración Pública, que debía exigir la instalación de diseños seguros en las líneas de nueva construcción e impulsar la modificación de las que ya estaban en funcionamiento. Para este cometido, el “Manual para la Valoración de Riesgos y Soluciones”, uno de los productos del proyecto PIE, era, y sigue siendo, el documento básico de referencia, donde se podían encontrar las soluciones más adecuadas para cada tipo de instalación.

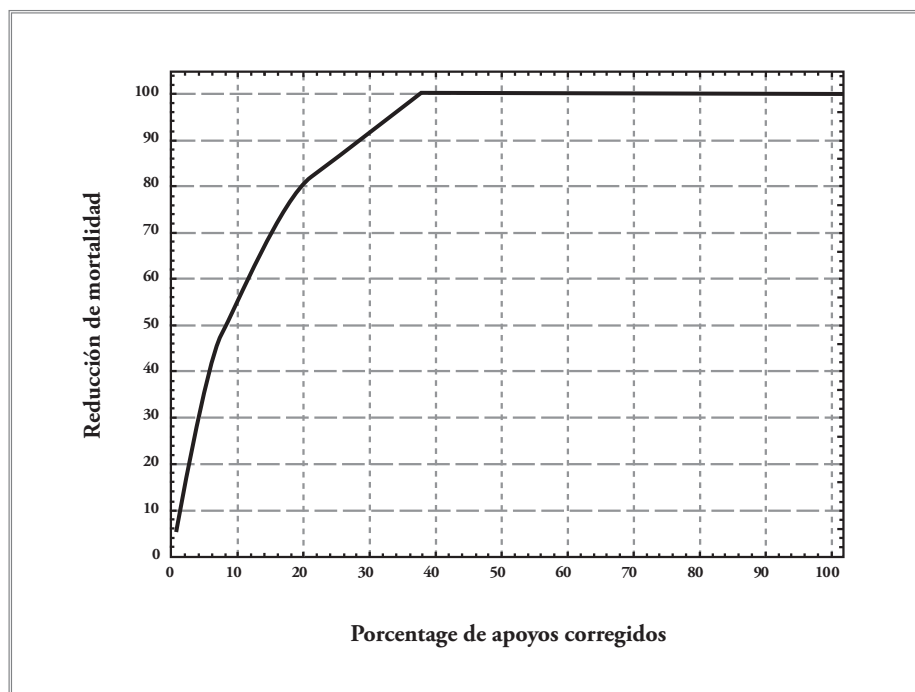
Una de las conclusiones más importantes del proyecto fue comprobar que la mayoría de los accidentes se producían en un reducido número de postes (electrocución) y vanos (colisión). La información generada permitía identificar a priori estos postes potencialmente más peligrosos, proponer las modificaciones más adecuadas y predecir la reducción de mortalidad que se producirá. Si, hasta ahora, estas tareas exigían meses de dedicación y un esfuerzo considerable de inversión, ahora era posible hacerlo con un número de muestreos mínimo y costes reducidos. Supongamos un Parque Natural de primera importancia ornitológica, en el que cabe esperar una elevada incidencia de los tendidos eléctricos sobre las aves. Las conclusiones de la investigación llevada a cabo, aplicadas a este caso hipotético, permitirían predecir una reducción del 40% en la mortalidad de aves con la instalación de medidas correctoras en sólo una décima parte de los apoyos de las líneas de distribución, y una reducción cercana al 80% con la modificación del 20% de los apoyos. Se conocería sobre qué postes hay que actuar para alcanzar estos porcentajes, y qué medida es la que habría que aplicar en cada uno.

El resultado del proyecto PIE puso de manifiesto que la distribución de accidentes tiende a ser enormemente contagiosa. Afortunadamente la mayor parte de las muertes ocurren en pocos postes, mientras que en la mayoría de ellos nunca se registra una víctima. Técnicamente hablando, la distribución de muertes por apoyo no sigue una distribución homogénea, ni tampoco normal, sino más bien una distribución de Poisson, también



conocida como ley de sucesos raros. Esto es una muy buena noticia desde el punto de vista de la disminución del problema, dado que modificando una pequeña fracción de postes podemos disminuir la mortalidad de forma muy significativa. También se demostraron dos aspectos claves desde el punto de vista de las soluciones. La distribución es estable entre años, siendo siempre los mismos postes los que ocasionan la mayoría de las muertes. El factor fundamental que condiciona el riesgo de muerte de aves en un poste es su diseño; en concreto algunas características concretas de su diseño. Con todo ello, se volvió posible determinar a priori cuál sería la distribución de muertes esperadas en cualquier red de distribución. Si bien no es posible estimar la mortalidad real de la red, sí lo es, sin embargo, estimar cuál será su distribución por los apoyos y, por tanto, cuánto reduciríamos la mortalidad total con cada actuación concreta (figura 1).

**Figura 1. Reducción acumulada de mortalidad en una red de distribución si seleccionamos los apoyos para intervenir por su peligrosidad.**



Desgraciadamente, y como en otras ocasiones, no todo el mundo utilizó los resultados de este proyecto. Algunas comunidades autónomas con presencia de águilas imperiales en su territorio, decidieron que el dinero disponible en un recién conseguido programa LIFE europeo, en el que había una partida para corrección de tendidos, lo emplearían siguiendo las recomendaciones de cierto funcionario del ICONA, en proteger los postes donde se había matado algún águila y punto. Aunque parezca increíble, durante años, las águilas siguieron muriendo electrocutadas, señalando con su sacrificio



los postes peligrosos, que podían haber sido corregidos antes si se hubiese aplicado lo aprendido en el PIE. Como muestra de esa actitud, cabe mencionar que cuando las compañías promotoras del PIE tenían que proteger los tendidos para valorar en campo la eficacia de los sistemas antielectrocución, y coincidiendo con la adjudicación del LIFE, pretendimos optimizar esfuerzos reuniendo a las compañías y Ministerio de Industria con las comunidades con águilas imperiales. La intención era fomentar el conocimiento mutuo del sector empresarial y el conservacionista y analizar las posibilidades de optimizar los recursos existentes para arreglos en tendidos. Así se lo planteé al funcionario del ICONA, responsable de la conservación del águila imperial, y estuvo de acuerdo, así que se fijó fecha para la reunión, que tendría lugar en Doñana. Todas las comunidades confirmaron su asistencia (Madrid, Castilla la Mancha, Castilla León, Extremadura y Andalucía), así como el representante del ICONA. Cuando llegó la fecha, ninguna comunidad autónoma, a excepción de Andalucía, ni el ICONA acudieron a la cita, a la que sí fueron todas las empresas y el Ministerio de Industria. Más tarde, por culpa de algún indiscreto fax, comprobábamos que las comunidades autónomas que no vinieron habían boicoteado la reunión por indicación del funcionario del ICONA, que era quien les había facilitado la financiación LIFE, quien les pidió que confirmasen pero que no asistieran a la reunión. Este fue el más triste desencuentro que he tenido con los que se supone deberían ser aliados naturales de los científicos, los gestores de nuestro patrimonio natural. Hasta entonces, yo creía que teníamos opiniones distintas pero un mismo objetivo. Entonces descubrí que teníamos opiniones distintas justamente porque nuestros objetivos eran distintos. A nosotros nos interesaba que las águilas dejaran de morir en los tendidos eléctricos, a ellos que esa meta no la consiguiéramos nosotros.

No obstante, sí hubo aplicaciones inmediatas de los métodos desarrollados en el PIE en amplias áreas del territorio español. En el mes de octubre de 1994, Iberdrola, que había sido una de las empresas participantes en el PIE, decidió aplicar los métodos desarrollados para afrontar el problema de electrocuciones de águilas imperiales en el suroeste de Madrid. Los datos disponibles hasta entonces eran dispersos pero muy preocupantes. La electrocución se revelaba en esta área, al igual que ya habíamos visto antes en otras zonas, como la principal causa de muerte de águilas imperiales. La empresa había contratado con anterioridad el análisis de los datos y las propuestas de solución a una fundación. Las propuestas que dicha fundación hizo a Iberdrola no fueron satisfactorias para la empresa. De nuevo, la propuesta de solución era arreglar mediante posaderos o aislamiento aquellos apoyos que habían matado algún águila. Iberdrola decidió aplicar el método de determinación a priori de los puntos peligrosos de la red completa del suroeste de Madrid y en su caso aplicar medidas cuya eficacia se hubiese constatado. Contó para ello con el CSIC y con Clave SL, la consultora que había trabajado en el PIE en la fase de estudios de campo, y pidió que se empleara esa metodología. Fue ésta la primera aplicación a gran escala de los modelos desarrollados en el PIE y permitieron además el desarrollo adicional de una herramienta informática que asesoraba en la optimización de las inversiones en arreglos de líneas. En total se tipificaron 19.057 postes de más de 200 líneas de distribución. A partir de esa información se realizó la priorización de actuaciones de acuerdo al programa de optimización de la inversión, proponiéndose finalmente las actuaciones que mayor reducción de la morta-



lidad prevista podrían conseguir, de forma económicamente viable. Las modificaciones que Iberdrola realizó en el suroeste de Madrid para disminuir la mortalidad de águilas se basó en este procedimiento. Desde entonces, la muerte de águilas electrocutadas en esta zona disminuyó de manera significativa.

Sin embargo, pese a la importancia que para el águila imperial tiene el Monte del Pardo, dada su singular condición de adscripción a Patrimonio del Estado y dependencia de la Casa Real, la entrada en esa zona no fue posible hasta dos años más tarde. En 1996, y durante una recepción que el Rey D. Juan Carlos I nos dispensó al entonces patronato del Parque Nacional de Doñana, capitaneado por la ministra de medio ambiente, Isabel Tocino, el rey me preguntó sobre la situación del lince y del águila imperial en Doñana. Aproveché la ocasión para contarle los buenos resultados que habíamos conseguido con la corrección de tendidos eléctricos y el hecho de que, justamente en el Monte del Pardo, era el único lugar donde no habíamos podido actuar, siendo como era el hogar de una de las más importantes poblaciones de águilas imperiales del mundo. El rey me dijo en voz baja “mañana me mandas una carta contándome esto”. Así lo hice y, apenas una semana después, recibí la invitación de la Casa Real para tener una reunión sobre el tema en el Palacio Real en Madrid, junto con representantes de Patrimonio del Estado. El representante de la Casa Real me explicó que le habían pedido que se interesase por ese tema, y que, en efecto, las muertes de aves en tendidos del Pardo eran frecuentes pero que el presupuesto de Patrimonio del Estado no daba para cambiar de golpe los tendidos de toda el área, como a ellos les gustaría. Les expliqué que en realidad la corrección de los tendidos no tenía por qué ser tan drástica. Se trataba más bien de localizar los apoyos peligrosos y corregirlos. Además les dije que pensaba que quizás fuera posible conseguir ayuda para financiar los costes.

Después de esa reunión, me puse en contacto con Iberdrola, con los que había recientemente colaborado en los encinares del suroeste de Madrid para contarles lo que pasaba. Iberdrola se ofreció a corregir los apoyos necesarios a su cargo. Hicimos la preceptiva tipología de apoyos y las sugerencias de modificaciones necesarias. Gracias a ello, los tendidos eléctricos de El Monte del Pardo dejaron de cobrarse su tributo en forma de águilas electrocutadas, siendo al día de hoy la población que más alta densidad de parejas sostiene. Hay que agradecer a Iberdrola su desinteresada colaboración que lo hizo posible.

Además de Iberdrola, y afectando a una superficie mucho mayor, hay que destacar las actuaciones de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Efectivamente, mientras que otras comunidades decidieron ignorar los avances científicos en la resolución de este tipo de problemas que había supuesto el PIE, Andalucía utilizó la financiación disponible del programa LIFE para, primero determinar la tipología y peligrosidad de los apoyos presentes tanto en las áreas de dispersión juvenil del águila imperial como en todos los parques naturales andaluces. Se pretendía determinar la contribución relativa de cada apoyo de línea eléctrica de distribución a la mortalidad global de aves por electrocución en el ámbito del estudio, generando una ordenación cuyo sentido era posibilitar la optimización en la toma de decisiones y en la inversión



de fondos para la reducción del impacto de los tendidos. Con esa información y la ayuda de aplicaciones informáticas, se decidió dónde invertir los fondos para obtener el mejor resultado posible, desde el punto de vista de la reducción de la mortalidad por electrocución de rapaces en general y del águila imperial en particular.

De esta manera, durante el periodo 1992 a 2009 se corrigieron 6.560 postes de diseño peligroso por toda la geografía andaluza, consiguiendo espectaculares resultados en lo que a la supervivencia del águila imperial se refiere, como veremos con detalle más adelante.

Durante muchos años, las comunidades que siguieron las indicaciones del ICONA, continuaron viendo morir a sus águilas innecesariamente. Mientras, otras comunidades, como Andalucía, que aplicaron los conocimientos del PIE para predecir la distribución de muertes y optimizar los arreglos, vieron cómo la mortalidad de la especie por esta causa descendía de manera espectacular y cómo, a consecuencia de ello, sus poblaciones de águilas experimentaban el mayor crecimiento registrado jamás en la historia, pasando de 21 a 71 parejas en apenas 15 años. Inevitablemente, el tiempo pone las cosas en su sitio.





## 9. Los resultados de las protecciones de tendidos

Tras el desarrollo de sistemas eficaces de modificación de postes, así como del método de selección de actuaciones eficientes, y, sobre todo, después de aplicar ambas cosas en amplias superficies del territorio nacional, cabe preguntarse sobre los efectos que todo esto ha tenido finalmente sobre las poblaciones de aves afectadas. ¿Hemos conseguido resultados que justifiquen este esfuerzo?

Responder a esta pregunta no es tan sencillo. Pensemos que, para poder hacerlo con certeza y precisión deberíamos haber seguido la mortalidad antes y después de las actuaciones, en todas la zonas intervenidas y otras donde no se hubiesen corregido tendidos, con métodos no sesgados según la causa de muerte (por ejemplo, radio-emisores o emisores satélite, cuya probabilidad de ser localizado no dependa de la causa de muerte) y hacerlo en varias especies. Obviamente, esto no se hizo así. Sin embargo, podemos usar otras aproximaciones y, en algún caso concreto, como el águila imperial, sí que disponemos de suficiente información de calidad como para poder evaluar cuál ha sido el resultado final de todos estos esfuerzos sobre la supervivencia de la especie, ave que probablemente motivó la mayor parte de los trabajos hechos en España.

Una manera de ponderar el efecto es calcular las reducciones de mortalidad estimadas en las zonas donde se han corregido los tendidos eléctricos. En el caso del Parque Nacional de Doñana, ya mencionamos que las intervenciones de eliminación de tendidos innecesarios y transformación en tendido con cables trenzados y aislados aparte del resto supuso para las jóvenes águilas imperiales disminuir su mortalidad durante los primeros seis meses de vida del 82,4% antes de estos arreglos, al 20% después, lo que supone un porcentaje de disminución del 75,5%. Hay que señalar que hablamos de la mortalidad total, no de la producida únicamente por los tendidos. Estos datos se basaban en ejemplares radio-marcados y seguidos durante mi tesis doctoral, lo que supone una información adecuada, no sesgada por la causa de la muerte. Este enorme incremento en la supervivencia juvenil supuso, sin duda, la actuación de conservación más eficaz empleada en la especie hasta ese momento. Como consecuencia de ello, la población de Doñana experimentó durante los siguientes años los mejores valores de densidad y fecundidad de los que tuviéramos registros históricos. No solo la reducción porcentual de la mortalidad fue impresionante, también al disminuir la contribución de las electrocuciones a las muertes totales, disminuyó la mortalidad diferencial por sexos que ésta provocaba y que tan graves efectos podría tener en una población pequeña, monógama y relativamente aislada como Doñana.



Si asumimos que la corrección de tendidos de distribución en Doñana redujo en un 95% las muertes de aves por electrocución, en cifras totales, eso significó que en Doñana y su entorno cercano, donde antes morían unas 6.000 aves al año, tras esas intervenciones, unas 5.700 aves se salvaban cada año de morir por causa de los tendidos. De ellas, unas 1.100 eran aves de presa. En concreto, en el caso del milano negro, unos 500 ejemplares se evitaban esa trágica muerte cada año. Tras la desconexión de la línea eléctrica de Matagordas, la peor de todas las que estudiamos en Doñana y que por sí sola acumulaba el 45% de las muertes totales, la población reproductora de milanos negros de la zona se duplicó en 4 años, pasando de 200 a 400 las parejas que cada año nidificaban en las cercanías de la antigua línea mortal.

La disminución de mortalidad por colisión, según se desprendía de los datos del PIE, rondaba el 90,5%. En el caso del tramo estudiado en las Marismas del Odiel, la mortalidad estimada tras los estudios de pérdida y de detectabilidad fijaba una tasa de 171 aves muertas por colisión por kilómetro y año. Con la adecuada señalización (por ejemplo, espirales blancas), evitaríamos la muerte de unas 150 aves al año por cada kilómetro señalado.

Pero la muerte de aves en tendidos no sólo producía un efecto directo sobre las poblaciones de aves por la pérdida de ejemplares o por el efecto diferencial entre sexos. También los tendidos podían ocasionar efectos más sutiles, condicionando la distribución y la densidad de las especies afectadas (Sergio et al. 2004). En un estudio que realizamos utilizando información sobre mortalidad y distribución del búho real en Italia, comparamos las estimas de riesgo de electrocución entre territorios habitualmente ocupados por la especie y territorios abandonados o infrecuentemente ocupados. Se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos de territorios en cuanto al riesgo de electrocución, siendo mayor en aquellas zonas donde los territorios eran frecuentemente abandonados. Además, pudimos comprobar cómo el elevado riesgo de electrocución estaba asociado a una tendencia de la población de la zona al descenso continuado de sus efectivos. Se estimó que el 17% de los jóvenes búhos se perdían cada año por causa de los tendidos. La densidad de nidificación de la especie estaba negativamente relacionada con el riesgo de electrocución, condicionando así variaciones en la densidad que no se correspondían con otros aspectos de calidad de hábitat.

## **El efecto de la protección de tendidos en la supervivencia del águila imperial**

Quizás el caso mejor estudiado del efecto que han tenido las modificaciones a gran escala de las redes eléctricas para mitigar su impacto en las aves sea el del águila



imperial en Andalucía. Esto no debería de extrañar, dado que si el lector ha llegado leyendo hasta aquí, sabrá ya que fue esta especie la que estuvo en el origen de todos los estudios, transformaciones, decretos de protección, diseños de medidas y procedimientos de protección de las líneas eléctricas en España.

Fue estudiando la mortalidad de esta especie como descubrimos que el riesgo de electrocución, afortunadamente no se distribuye al azar entre los postes sino que sigue una distribución de Poisson, con unos pocos postes acumulando la mayor parte de accidentes. Ese detalle permite que, conociendo los condicionantes del riesgo, la protección de amplias redes sea posible con tan sólo la intervención en una pequeña fracción de los apoyos, consiguiendo sin embargo reducciones de la mortalidad muy significativas.

La red de tendidos eléctricos ha continuado creciendo durante los últimos 50 años y probablemente seguirá haciéndolo en un futuro inmediato. Con el ejemplo de Doñana y la corrección de sus tendidos aprendimos que cuando un factor de mortalidad local importante, como la electrocución, es identificado, con las actuaciones correctas, se puede corregir completamente, o al menos disminuir de forma significativa su impacto. Pero, ¿y a una escala mucho mayor?, ¿es posible arreglar, o al menos aminorar significativamente la mortalidad en tendidos cuando hablamos de las redes eléctricas de un área tan grande como Andalucía? Dicho de otra forma ¿de verdad podemos resolver el problema de la enorme cantidad de líneas ya construidas que ocultan entre muchísimos postes inocuos a miles de postes peligrosos?

A continuación veremos cómo sí que es posible y cómo las modificaciones que se han llevado a cabo en Andalucía han conseguido un cambio positivo en la demografía de esta especie, que tras los arreglos ha pasado de una situación de amenaza y estancamiento de sus efectivos, cuando no declive, a mostrar un continuado incremento en sus poblaciones, incremento sostenido desde que se corrigieron los tendidos en sus poblaciones reproductoras y áreas de dispersión juvenil.

Como ya dijimos, el águila imperial es una especie de larga vida, de comportamiento sedentario y que utiliza árboles como lugar de nidificación. El ancestro de nuestra especie y del águila imperial oriental (*Aquila heliaca*), llegó a la península ibérica hace 980.000 años, cuando se produjo la primera gran glaciación del cuaternario (Ferrer y Negro 2004). En este periodo, el avance de los hielos permanentes en el norte de Europa hizo que las especies típicas de las estepas como hamsters, lemmings y ardillas terrestres se desplazaran hacia el sur. Los restos encontrados en la “Sima de los Elefantes” de Atapuerca demuestran que estos pequeños mamíferos llegaron a Iberia en ese periodo. Tras ellos vinieron sus predadores, el águila de estepa y también el lince boreal. En España encontraron una presa alternativa que llevaba viviendo aquí más de un millón y medio de años antes de que ellos llegaran; el conejo. Gracias a ello, tanto las águilas como los linceos pudieron sobrevivir en la península ibérica pero no lo consiguieron ni en Italia ni en Grecia, en donde no había conejos. Tras casi un millón de años de aislamiento de su antigua familia, nuestra águila imperial se convirtió en una especie diferente y única; la especie de águila con la distribución continental más pequeña del mundo. Como resultado de su historia, nuestra águila está condenada a vivir siempre en las zonas de alta densidad



de conejos, al igual que el lince ibérico. En ambos casos, el modesto conejo de monte constituye el 88% de la dieta y los dos están confinados al cuadrante suroccidental de la península, área que mantienen las mayores densidades de su presa habitual.

El águila imperial está considerada una de las rapaces más escasas del mundo, siendo su población actual cercana a las 300 parejas. Sus principales amenazas son la electrocución en tendidos eléctricos, con cerca del 60% de las muertes antes de los arreglos y un fuerte sesgo hacia las hembras, el uso de venenos y el declive de su presa principal debido a la introducción de enfermedades (mixomatosis, neumonía vírica, etc.).

El área objeto de correcciones masivas en tendidos que hemos estudiado es Andalucía, con una superficie de 87.598 km<sup>2</sup>, lo que representa el 17,3% de la superficie total de España. Para poder evaluar el efecto de las correcciones hemos utilizado una base de datos de 35 años (1974–2009). Esta base incluye datos de número de parejas y registros de muertes por electrocución y por otras causas. Para ello hemos usado todas las fuentes disponibles que incluyen los archivos de la Estación Biológica de Doñana, las recuperaciones de anillas, los resultados de los 32 ejemplares radiomarcados en Doñana así como todos los datos disponibles facilitados por la Consejería de Medio Ambiente de Andalucía. Además hemos contado con los datos de todos los ejemplares marcados desde 1992, totalizando unas 150 águilas.

Como ya sabemos, las electrocuciones ocurren principalmente en líneas de distribución (16–45 kV). Sin embargo, en contraste con las menos numerosas líneas de transporte, para las cuales sí existe información disponible, no pudimos obtener información fiable y precisa del incremento en extensión de la red de distribución durante esos 35 años que queríamos analizar. Por ese motivo, utilizamos como indicador del crecimiento del tamaño de la red los datos de líneas de 110-200 kV que sí estaban disponibles.

Las medidas de corrección que se aplicaron en Andalucía han seguido los procedimientos desarrollados en el PIE, es decir, la localización de puntos de acumulación de la mortalidad utilizando modelos predictivos de la distribución de muertes. Dado que el diseño de los apoyos y el hábitat explican el 82% de la varianza en la distribución de las muertes por electrocución, la mayoría de las actuaciones se realizaron de forma proactiva, es decir, se protegieron los apoyos peligrosos antes de que ocurriesen accidentes. Por supuesto, también se corrigieron aquellos apoyos donde se produjeron muertes de forma reactiva. Las actuaciones incluyeron la sustitución de apoyos con aisladores suspendidos para sustituir las de aisladores rígidos, el aislamiento de elementos en tensión sobre los travesaños, especialmente los puentes flojos, y, por supuesto asegurarse que las líneas de nueva construcción utilizasen apoyos con diseño seguro, de acuerdo al decreto de 1990.

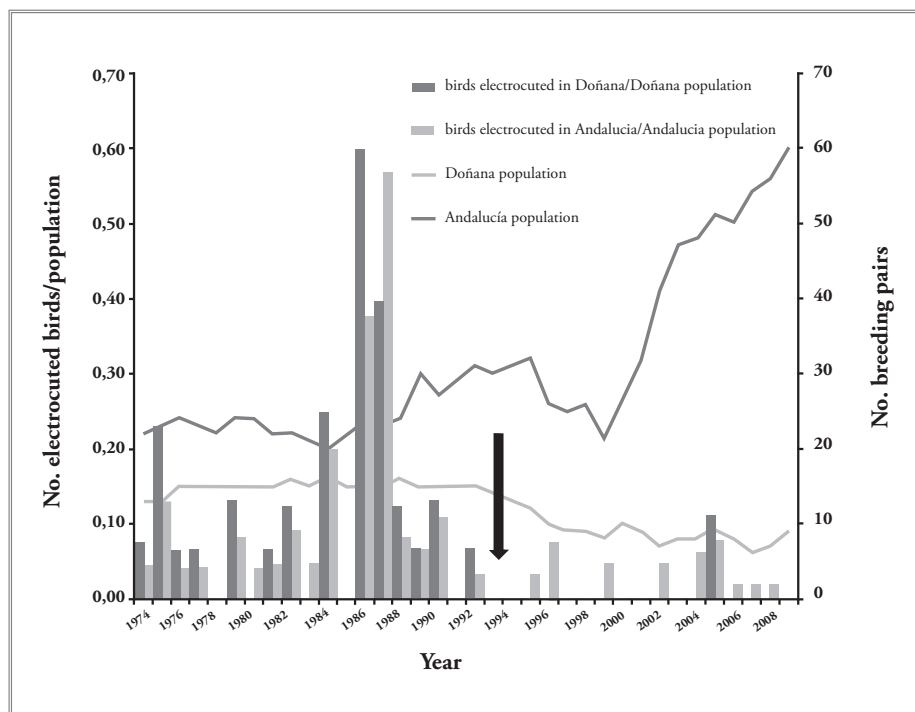
Para analizar el efecto de estas actuaciones sobre las poblaciones de águilas imperiales, dividiremos el periodo de estudio en dos, considerando la aprobación del decreto de protección de aves en instalaciones eléctricas (decreto de la Junta de Andalucía 194/1990 de 19 de junio) como línea divisoria de ambos. Aunque el decreto se aprobó en 1990, las actuaciones generalizadas de corrección no comenzaron hasta 1992, por tanto consideraremos dos periodos para su comparación, 1974-1992 y 1993-2009. Para poder comparar la intensidad de la mortalidad, comparamos las muertes por electrocución por



pareja presente en la población y por kilómetro de línea de media tensión, tanto a escala andaluza como en el caso particular de Doñana. Claramente, para un mismo número de águilas, si aumenta el número de apoyos puede aumentar el número de ejemplares electrocutados. De la misma manera, incluso con el mismo número de postes, si el número de águilas aumenta, también aumentaría el número de electrocuciones. Por ello necesitamos estandarizarlo por número de águilas y número de postes para poder comparar las variaciones en el riesgo de electrocución.

Desde 1974, un total de 158 águilas imperiales se han recogido muertas en Andalucía, 101 de ellas dentro del Parque Nacional de Doñana (figura 1). Para todo el periodo estudiado, la electrocución ha sido la causa más frecuente con un 39,87% del total de muertes. Desde 1974, año en que se encontró la primera águila electrocutada, han muerto por esta causa 63 en Andalucía, 37 de ellas en Doñana. Durante ese periodo, la población de águilas imperiales en Andalucía ha pasado de 22 parejas en 1974 a 60 en 2009, lo que significa un porcentaje de incremento anual de la población de un +3,46%. En 2009, la población andaluza representaba el 24% de la población mundial de la especie.

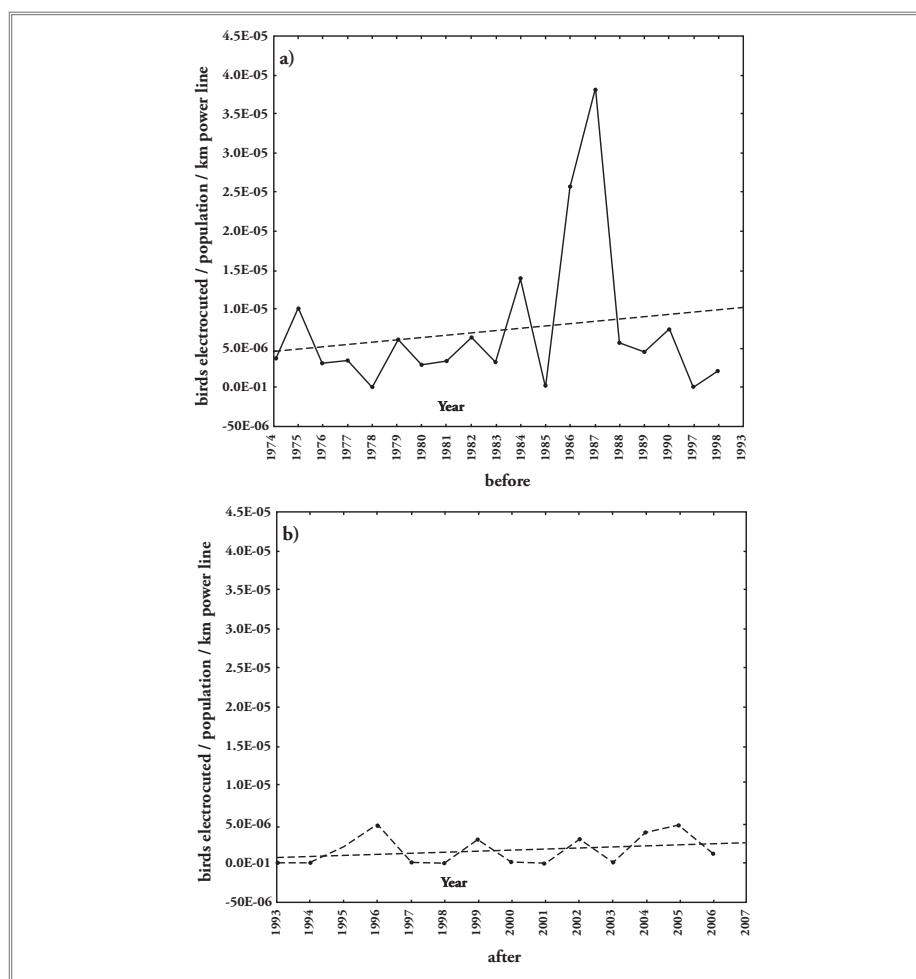
**Figura 1.** Mortalidad anual por electrocución de águilas imperiales, expresados como porcentaje de la población, y tendencia de la población (andaluza y específicamente Doñana, tomado de Pascual et al. 2011). La flecha negra indica cuando se pusieron en marcha las medidas de protección (Decreto 194/1990 de la Junta de Andalucía).





Si comparamos los dos periodos considerados, el crecimiento de la población andaluza ha pasado de un +2,24% anual en 1974-1992 a un +4,74%, más del doble, en el periodo 1993-2009. En cuanto a águilas muertas por electrocución, si comparamos los dos periodos la reducción ha sido del 96,9% en el área de Doñana y del 61,95% en el resto de Andalucía (ver figura 2). Estas reducciones han tenido como efecto el cambio significativo en las pendientes de crecimiento de las poblaciones de águilas. En otras palabras, después de los arreglos de líneas, la población andaluza de águilas cambió su trayectoria hacia un claro crecimiento a más del doble de velocidad que antes. Esto ha sido así a pesar del continuado incremento en el número de kilómetros de líneas eléctricas durante ese periodo.

**Figura 2.** Tendencias de las electrocuciones de águilas imperiales en los dos periodos analizados: antes de la aplicación de medidas (1974-1992) y después (1993-2006)- Las muertes están relativizadas por el número de km. de líneas eléctricas (110-200 kV, tomado de Pascual et al. 2011).





Desde 1992 hasta 2009 se han corregido un total de 6.560 apoyos peligrosos a lo largo de 1.446 kilómetros de líneas eléctricas que discurren por zonas utilizadas por las águilas imperiales. El coste total de esas medidas ha sido de 2.624.000 euros, lo que supone aproximadamente el 15% del total invertido en conservación de la especie en Andalucía durante ese periodo de tiempo. Con una inversión anual de 154.000 euros se ha conseguido el mayor efecto que nunca ha tenido una actuación de conservación sobre una especie. Es, sin duda, una pena que algunas comunidades autónomas decidieran seguir las indicaciones del ICONA y no aplicar las recomendaciones del PIE. De hecho, la población andaluza ha crecido más deprisa que ninguna otra en España. Los arreglos que se han realizado en otras áreas, con algunas excepciones, han sido como reacción a electrocuciones y no de forma que se optimizara la intervención tanto del punto de vista de ahorro de dinero como, sobre todo, del ahorro en muertes innecesarias de águilas.

Es interesante, aunque no inesperado, que tras publicar esta información en una importante revista científica (Pascual et al. 2011), los funcionarios del antiguo ICONA argumentasen que, en realidad, el incremento se debía a otro tipo de acciones de conservación emprendidas esos mismo años. Así la alimentación suplementaria en nidos con problemas sería, según ellos, la causa de ese incremento. Curiosamente esa técnica se comenzó a utilizar en Doñana en 1987, precisamente desarrollada por mí (Ferrer y Penteriani 2007). Sin embargo, el análisis de la demografía de la especie es claro y no deja lugar a dudas (Ferrer y Calderón 1990, Ferrer e Hiraldo 1991, Ferrer y Donazar 1996), con un incremento incluso espectacular de la fecundidad, esta especie solo aumentaría su velocidad de crecimiento en un +0,59% anual, sin embargo, un cambio en la mortalidad de inmaduros y, sobre todo de adultos es la única variación que podría explicar crecimientos cercanos al +5% como el experimentado desde que comenzaron los arreglos de tendidos (Ferrer y Penteriani 2007). Esto es así porque el águila imperial pertenece al grupo de especies conocidas como estrategas de la “K” o especies de demografía lenta. Este tipo de especies se caracteriza por una elevada longevidad (más de 20 años en el caso del águila), una baja fecundidad (0,75 pollos por pareja y año), una elevada mortalidad juvenil (el 84% de los jóvenes mueren antes de alcanzar la madurez sexual) y una elevadísima supervivencia adulta (superior al 94% anual), de la que depende la estabilidad de la población. Este tipo de especies es muy poco sensible a variaciones en la fecundidad pero muchísimo a variaciones en mortalidad. Curiosamente, ya en 1991 (Ferrer e Hiraldo 1991) preveíamos que si éramos capaces de acabar con la mortalidad de águilas en tendidos, la población crecería hasta casi el +6% anual. Como hemos visto, la mortalidad de águilas en Andalucía se ha reducido de media un 82% en todo el territorio y, por ello, el crecimiento ha sido de casi el +5% anual.

La experiencia en Andalucía demuestra que incluso un problema de conservación de la escala descomunal de los tendidos eléctricos de distribución en un país desarrollado y densamente poblado se puede resolver si entendemos el problema con precisión y si hay decisión política y colaboración de los sectores implicados. La información científica resulta ser la base para poder decir, muchos años después que,



efectivamente las águilas pueden vivir también en espacios con tendidos eléctricos, basta hacer las cosas bien.

Aunque no tenemos datos objetivos, es fácil suponer que el beneficio para otras aves de presa afectadas por la electrocución ha debido de ser igual o incluso mayor que el obtenido para el águila imperial. Utilizando las mortalidades medias encontradas en los trabajos de Doñana, Las Lomas y las zonas de asentamiento así como en el PIE en las zonas andaluzas, es probable que más de 1.000 aves de presa se estén librando cada año de esta trágica y gratuita muerte, y probablemente más de 15.000 aves de otras especies que pueden seguir llenando nuestros cielos. Para todos los que durante años han trabajado en este tema esto es sin duda el principal motivo de satisfacción.





## 10. Últimos avances en colisión y electrocución

En 2007, mi colega y amigo, Bob Lehman, publicaba una revisión de los trabajos realizados sobre electrocución de aves de presa en todo el mundo en los últimos treinta años (Lehman et al. 2007). En ella llamaba la atención sobre la generalizada falta de estudios sobre la incidencia real de las modificaciones y su efecto en las poblaciones objetivo que se pretendía proteger. Afirmaba que, salvo escasas excepciones, en las que incluía los trabajos hechos en España, no se suelen publicar los resultados sobre eficacia de actuaciones de protección. Esto es particularmente grave porque si los aciertos y, sobre todo, los fallos no son difundidos, estaremos condenados cada uno de nosotros a repetir los fallos que cometan todos los demás, con el consiguiente retraso en el conocimiento que ello supone. Por ese motivo, en nuestro caso siempre hemos tenido especial interés en la publicación de los resultados, buenos o malos, de los sistemas de protección que hemos podido estudiar. Aunque el mayor progreso en el conocimiento de la eficacia de los sistemas tanto antielectrocución como anticolidión se produjo sin duda durante el desarrollo del PIE, algunas ideas nuevas han aparecido desde entonces que merece la pena reseñar.

En 2002 se presentó en mi despacho de la Estación Biológica de Doñana, en Sevilla, Cecilia Pérez Calabuig, una joven estudiante de master brasileña que quería hacer su tesis doctoral sobre el efecto de tendidos eléctricos en una especie de cisne sudamericano amenazado, el coscoroba. Era imposible negarse a dirigir a una persona que demostraba tanta determinación, empeño y capacidad de trabajo como ella, así que diseñamos un estudio de manera que nos diese información sobre el impacto que estas líneas estaban provocando y pudiésemos valorar la eficacia de sistemas de señalización dado que, en este caso y como suele ocurrir con ánsares y otras anátidas, el problema era la colisión contra los cables.

En el marco de la tesis se midió la eficacia de la señalización convencional (espirales de PVC “salvapájaros”) en esta especie en concreto y en un ambiente muy diferente a los ensayados hasta ahora, como son las grandes zonas húmedas del litoral de Rio Grande do Sul, y en concreto el bañado del Taim, en el sur del país.

Durante cinco años de estudio se valoró tanto la mortalidad como la eficacia en diferentes hábitats de sistemas de señalización cuyos resultados hasta entonces sólo habíamos comprobado en España. La línea de transporte tenía una tensión nominal de 138 kV y con una longitud de 16 km constaba de 29 vanos. Cecilia recogió un total de 604 víctimas de colisión que, ajustando según las estimas de pérdida por carroñeros,



daba una cifra de 1.300 muertos aproximadamente. Se encontraron 58 especies diferentes de aves, siendo el coscoroba el 29,5% de las víctimas. Se pudo comprobar que la señalización con salvapájaros conseguía reducciones significativas de la frecuencia de colisiones de entre el 90% y el 92%, valores parecidos a los obtenidos en España.

Este resultado es especialmente importante porque parece apoyar la idea de que, en el caso de la colisión, los sistemas con éxito podrían ser bastante generalizables, a diferencia de los sistemas antielectrocución. No resulta tan sorprendente la diferente necesidad de diseños específicos entre ambos tipos de accidentes si consideramos que, como ya hemos visto, la probabilidad de electrocución depende fundamentalmente de aspectos concretos, y a veces sutiles, del diseño de los apoyos, que varía enormemente entre compañías eléctricas y, por supuesto entre países y continentes. Esto hace que los diseños de protección deban ser mucho más específicos en el caso de la electrocución. Sin embargo, en la colisión, el aspecto principal es la visibilidad del cable. Si consideramos que, básicamente la percepción visual de las aves es similar, al menos dentro de los mismos grupos taxonómicos, parece razonable que los mismos sistemas puedan funcionar en situaciones muy diferentes.

No obstante, y a petición de Red Eléctrica de España, tuvimos la oportunidad de testar, esta vez en España, la eficacia de un nuevo sistema de señalización. La compañía eléctrica había tenido problemas de mantenimiento de los señalizadores anticolidión habitualmente usados, el salvapájaros. Este sistema, a pesar de su indudable eficacia para disminuir las colisiones presentaba un problema de diseño. Por su forma y su colocación, tendía a convertirse en los nodos de vibración de los vanos de los cables de tierra donde eran colocados. Este exceso de trabajo mecánico al parecer acortaba la vida prevista de la señalización que en periodos menores de 5 años se caían al suelo, tras romperse el material por fatiga. A una empresa de transporte de energía, la colocación de dispositivos para evitar colisiones no les plantea ningún problema, especialmente empresas con la implicación ambiental de Red Eléctrica de España. Para ellas lo difícil es programar descargas de líneas en operación para reponer señalizadores caídos. Por ese motivo era muy importante para ellos que se pudiese utilizar un sistema de señalización que, por su comportamiento dinámico en condiciones reales, tuviese la mayor duración posible. Así fue como ensayamos en una línea situada en la Palma del Condado, Huelva, un nuevo tipo de señalizador bautizado como “aspas”.

Durante el periodo 2004 al 2006 y de 2008 a 2009 señalizamos de forma alternativa vanos con señalizadores convencionales tipo salvapájaros, señalizadores nuevos tipo “aspas” y vanos control. Los resultados indicaron que el nuevo sistema de señalización tenía una eficacia entre el 73% y el 76% mayor que los convencionales. Por otra parte, los ensayos que llevamos a cabo en túnel de viento, con la colaboración del grupo de mecánica de fluidos de Granada, demostraron una duración potencial mayor del nuevo dispositivo tras el perfeccionamiento de la grapa de anclaje al cable de tierra.

En Córdoba hemos realizado otra experiencia distinta que nos puede ayudar a resolver un problema concreto con tendidos y aves para el que todavía no habíamos



hallado solución: la colisión de avutardas contra líneas de transporte. En efecto, durante el desarrollo del PIE, y en la zona de estudio conocida como Llanos de Cáceres, pudimos comprobar cómo los sistemas para evitar las colisiones funcionaban de manera muy satisfactoria en casi todas las especies de aves, salvo la avutarda. Quizás sus características aerodinámicas de vuelo, únicas en la fauna alada europea, explique su escaso éxito evitando obstáculos. Lo cierto es que yo mismo he podido presenciar cómo una avutarda volaba hacia un tendido señalizado en Llanos de Cáceres y chocaba, no con el cable sino con la propia torreta de transporte. Hasta el momento no habíamos encontrado una solución satisfactoria para una de las especies más afectadas por este problema y con mayor interés en conservación. Tuvimos la oportunidad de ensayar con Red Eléctrica de España una estrategia diferente. La idea no era señalar las líneas para la avutarda sino conseguir que la avutarda no utilizase tan frecuentemente la zona del tendido de transporte, ofreciéndole para ello un hábitat alternativo de calidad que condicionase sus movimientos por áreas más seguras. Tras el primer año en que se manejaron los cultivos del entorno para ofrecer a las avutardas un nuevo hábitat de calidad, conseguimos que criaran en la zona manejada. Esta alternativa de manejo de hábitat puede ser una solución interesante para algunas especies concretas cuando los demás sistemas fallan.

En lo referente a sistemas de protección para evitar electrocuciones, en los últimos años lo que más nos ha interesado ha sido disminuir los costes tanto de colocación como de reposición. Un importante problema de los sistemas de protección antielectrocución es que tienen una vida limitada, principalmente por su exposición a la intemperie que reduce su vida útil produciendo roturas del material y pérdida de la capacidad de aislamiento. La colocación del material es un componente del gasto del arreglo en general mucho mayor que el coste del material. Resulta por tanto crítico mejorar los sistemas de colocación y fijación para que el tiempo de trabajo de la cuadrilla se reduzca considerablemente, bajando con ello de forma significativa el coste por apoyo.

En los últimos años, con la colaboración de Endesa y de la Consejería de Medio Ambiente, el CSIC y la Fundación Migres han trabajado en el desarrollo de nuevos sistemas antielectrocución. En 2010 se registró un modelo de utilidad cuyas ventajas fundamentales residen en la facilidad de su colocación. En efecto, con el útil adecuado, también desarrollado en ese proyecto, el material aislante se acopla al conductor con un sólo golpe de pértiga. Con el uso de una pértiga aislante, el dispositivo se puede colocar con la línea en tensión. La duración del nuevo material multiplica por tres las expectativas de los sistemas actualmente utilizados, lo que disminuye muchísimo el coste, no de la protección de una línea sino de mantenerla protegida indefinidamente.





# 11. El futuro, nuevos problemas, oportunidades y recomendaciones

Los tendidos eléctricos, tanto de transporte como de distribución están aquí para quedarse, al menos de momento. Esto significa que seguirán planteando nuevos problemas pero también ofreciendo nuevas oportunidades.

En el apartado de problemas, me parece que la lección que hemos aprendido en Europa y Estados Unidos debería servir para evitar que cometamos los mismos errores en los países en vías de desarrollo que, en la medida que ese desarrollo llegue, verán aumentar de forma importante sus redes eléctricas. El diseño adecuado de apoyos de distribución evitaría que en el futuro tengamos problemas de la magnitud de los que hemos creado en países desarrollados y que tanto tiempo y esfuerzo nos está llevando corregir. Es sorprendente que, en algunos casos, sean compañías eléctricas que tiene experiencia propia en estos problemas en sus países de origen las que, sin embargo, parecen olvidar todo lo aprendido cuando construyen nuevas líneas en uno de esos países en desarrollo. Si así lo hacemos, tardará más o menos tiempo pero estaremos condenados a repetir estos mismos esfuerzos de corrección con muchísimos cadáveres gratuitos de por medio. Es prioritario, en mi opinión, que la tecnología ambiental viaje a la vez que la tecnología industrial en la construcción de tendidos en esos países, nos resultará mucho más barato a todos.

Si las aves de presa han sido las víctimas propicias de electrocuciones en Europa y Norteamérica, debido fundamentalmente a su tamaño y al intenso uso que hacen de los apoyos, hay un grupo taxonómico que sin duda será todavía peor: los monos. En efecto, resulta difícil imaginar un grupo animal más proclive a trepar por las torretas y agarrar los conductores que un mono. En Europa y Norteamérica no existen especies de simios que nos hayan dado información sobre el problema, si hubiesen existido probablemente este libro trataría de tendidos eléctricos y monos. Sin embargo, los monos están ampliamente distribuidos por esos países en vías de desarrollo de los que hablábamos antes, como en Sudamérica y África, y son grandes candidatos a sufrir un importante impacto con la aparición de las líneas eléctricas. Actualmente carecemos de información más que anecdótica sobre casos de electrocución en monos, pero deberá ser una prioridad en el futuro evitar que, a los múltiples problemas de supervivencia que padecen muchas especies de primates por causa nuestra, añadamos un factor adicional de mortalidad que puede llegar a ser tremendo. Deberá ser responsabilidad de las empresas y administraciones diseñar apoyos seguros para este tipo de especies, y responsabilidad nuestra transmitir la información del impacto que los diseños inadecuados han llegado a suponer en otros grupos animales.



La localización a priori de puntos de acumulación de muertes ha permitido la corrección eficaz del problema de electrocución en áreas amplísimas de la geografía española. Sin embargo, los sistemas de protección tienen caducidad. Los materiales pierden su capacidad de aislamiento con la exposición a la intemperie y necesitan ser repuestos con periodicidad. Las partidas destinadas a correcciones tienden a ser vistas como actuación final, con lo que rara vez se cuenta con una partida anual de reposición. Esto debe cambiar en el futuro y los costes deben abarataarse con sistemas de mayor duración o transformaciones de carácter definitivo.

Uno de los componentes más costosos en tiempo y dinero del arreglo de grandes redes de distribución es el levantamiento de las tipologías de los apoyos. Hasta ahora esto se hace mediante recorridos a pie por las líneas, de igual manera que se hace cuando se quiere comprobar que las correcciones previamente instaladas siguen en su sitio y no se han caído. La búsqueda de sistemas más rápidos y baratos para el seguimiento de líneas eléctricas de distribución nos movió a poner en marcha el proyecto Aeromab (Aerospace Technologies Applied to Biodiversity Conservation). En este proyecto, realizado con la colaboración de la Escuela de Ingenieros de Sevilla, se ha desarrollado una aplicación usando aviones teledirigidos no tripulados con capacidad para seguir el trazado de líneas y recoger información de tipologías o del estado de sistemas de protección. Con ello, en el futuro, este tipo de trabajos se podrían realizar mucho más rápidamente a un menor coste.

Hemos avanzado mucho durante estos años en el conocimiento del problema y la búsqueda de soluciones viables. Sin embargo, las tipologías de apoyos siguen siendo las mismas que hace 30 años. Los ingenieros industriales que trabajan en diseño de apoyos parecen no haberse interesado lo más mínimo por el problema. Sería muy deseable que se invirtiera algún esfuerzo en el diseño de apoyos más seguros que evitasen completamente las electrocuciones. Parece claro que si el apoyo sale de fábrica con sistema de protección incorporado, la necesidad de su posterior colocación y su mantenimiento y reposición desaparecería. El tresbolillo suspendido sigue siendo hoy el diseño menos peligroso pero no parece imposible que se pueda diseñar algo aún mejor. Los trabajos que realizamos en laboratorio durante el PIE demostraron que los ensayos con aves en cautividad reflejan los que se obtienen después en el campo y que, por lo tanto, podrían ser empleados en ensayos de nuevas tipologías de apoyos. En ese sentido, los apoyos del tipo “canadiense” resultaron ser aún más seguros que los de tresbolillo pero jamás se han utilizado en Andalucía. Tal vez es hora de que las compañías eléctricas, que luego sufren las consecuencias, insistan en el desarrollo de nuevos apoyos que definitivamente no maten aves.

Pero las líneas eléctricas no sólo son problemas para las aves, también pueden suponer oportunidades. Quizás el caso más claro de beneficio para las aves sea la nidificación en las torretas de transporte o apoyos de distribución. En el caso de algunas especies, la fracción de la población que nidifica en estructuras eléctricas se ha incrementado paulatinamente en las últimas décadas hasta que en algunas especies y en ciertas áreas, la mayor parte de las parejas crían sobre torretas de líneas eléctricas. Algunos estudios, como en el caso de la cigüeña blanca en España o el águila pescadora en Alemania, han demostrado que las parejas que nidifican en estructuras eléctricas



tienen mayor éxito reproductivo que las que utilizan soportes tradicionales como los árboles. Probablemente la mayor dificultad que tendrían los predadores para trepar por los resbaladizos perfiles metálicos así como la mayor estabilidad de las torretas, y por tanto la menor probabilidad de que un golpe de viento tire la estructura del nido, explique estas diferencias. Sea como sea, la adecuación de las torretas o apoyos para permitir, e incluso facilitar la nidificación de manera que no suponga problemas de servicio en la línea es una buena forma de favorecer a muchas especies de aves, algunas de ellas amenazadas. Por ejemplo, el águila pescadora ha incrementado sus poblaciones centroeuropeas básicamente nidificando en líneas de transporte. En España, y tras siete años de liberaciones de jóvenes águilas pescadoras de Alemania, Finlandia y Escocia, en 2009 conseguimos que esta especie que había desaparecido como nidificante de la Península Ibérica volviese a criar entre nosotros. Y lo hizo en un poste de distribución. La dos primeras parejas que volvieron a criar en España tras 60 años de su desaparición lo hicieron en un poste eléctrico en el embalse de Guadalcazín, en Cádiz, y en otro en las Marisma del Odiel. Su futuro probablemente estará muy vinculado al uso de las instalaciones eléctricas. Los trabajos para solucionar los posibles problemas que genera la nidificación y ofrecer lugares seguros para que las aves puedan construir sus nidos sin comprometer el adecuado funcionamiento de las líneas eléctricas han tenido éxito en el caso de líneas de transporte pero sigue siendo una asignatura pendiente en el caso de líneas de distribución.

En los últimos años, una nueva variable ha venido a afectar de lleno nuestra percepción de la gestión de biodiversidad; el cambio climático. Desde el punto de vista de la biodiversidad, quizás lo más relevante del cambio climático no sea el hecho en sí, sino la velocidad a la que está ocurriendo. Las líneas isotermas del mes de julio en el Hemisferio Norte se mueven hacia el norte a una velocidad de 4-5 km por año, lo que significa que el clima está cambiando a una velocidad cerca de 25 veces más rápido de lo que lo hizo en la última glaciación. En esta situación, aquellos seres vivos que tienen una menor capacidad de dispersión tienen su futuro seriamente comprometido, especialmente porque a la elevada velocidad del cambio hay que sumarle la fragmentación del hábitat que nuestra actividad ha generado en el territorio. Por ello muchas especies necesitarán de corredores que les permitan salvar esas barreras que les hemos creado y que hacen muy difícil la ya de por sí limitada dispersión de sus ejemplares, de forma que puedan responder al cambio climático. Solo el uso y adaptación inteligente de infraestructuras lineales, que recorran grandes distancias, puede ser una oportunidad de oro para este tipo de especies. Los primeros experimentos que hemos realizado en líneas de transporte, con la adecuación de las bases de las torretas (100 metros cuadrados) con plantación de matorral, adecuación de refugios, etc. han demostrado que la idea puede ser viable. Hemos conseguido aumentar significativamente la biodiversidad local de insectos, arácnidos, reptiles y micromamíferos bajo las torretas y comprobado que la velocidad de colonización de nuevas torretas es mayor que la velocidad actual de cambio climático. Las líneas eléctricas, convenientemente adaptadas, pueden convertirse en los corredores que muchas especies necesitan desesperadamente. Es posible que las líneas eléctricas terminen echando un cable a la biodiversidad en su eterna lucha por adaptarse a los cambios.







## 12. Bibliografía

- ALLAN, D.G. 1997. Blue Crane *Anthropoides paradiseus*. En J.A. Harrison, D.G. Allan, L.G. Underhill, M. Herremans, A.J. Tree, V. Parker y C.J. Brown (Eds.) The Atlas of Southern African Birds. Vol I: Non-passerines. BirdLife South Africa.
- AVERY, M.L. (ED). 1978. Impacts of transmission lines on birds in flight. U.S. Fish and Wildlife Service, Biological Services Program. 151pp.
- BEAULAUQUIER, D. L. 1981. Mitigation of Bird Collisions with Transmission Lines. Portland, Oregon, Bonneville Power Administration, U.S. Department of Energy: 83pp.
- BENSON, P.C. 1977. Study of powerline utilization and electrocution of large raptors in four western states. Propuesta de investigación. Brigham Young University, Provo, Utah. 7pp.
- BENSON, P.C. 1980. Study of large raptor electrocution and power pole utilization in six western states. Workshop on Raptors and Energy Developments. Idaho Chapter, The Wildlife Society, Boise, Idaho.
- BENSON, P.C. 1981. Large raptor electrocution and powerpole utilization: A study in six Western States. Tesis doctoral. Provo, Utah, Brigham Young University. 98pp.
- BENSON, P.C. 1982. Prevention of golden eagle electrocution. Electric Power research Institute. Palo Alto, California, 84pp.
- BENTON, A.H. 1954. Relationship of birds to power and communication lines. Kingbird 4:65-66.
- BENTON, A.H. Y DICKINSON, L.E. 1966. Wires, poles, and birds. En R.P Howard y J.E. Gore (Eds.) Birds in Our Lives. Sport Fisheries and Wildlife, Washington D.C.
- BEVANGER, K. 1988. Transmission line wirestrikes of capercaillie and black Grosse in central Norwegian coniferous forest. Okoforsk Project 9: 1-53. Informe inédito.
- BEVANGER, K. 1994. Bird interactions with utility structures: collision and electrocution, causes and mitigation measures. Ibis 136: 412-425.
- BEVANGER, K. 1995. Estimates and population consequences of tetraonid mortality caused by collisions with high tension power lines in Norway. Journal of Applied Ecology 32: 745-753.
- BIJLEVELD, M.F.I.J. Y GOELDIN, P. 1976. Électrocution d'un couple de Buses *Buteo buteo* à Jongny. Nos Oiseaux 33(6): 280-281.
- BLUE, R. 1996. Documentation of raptor nests on electric utility facilities through a mail survey. En D.M. Bird, D.E. Varland y J.J. Negro (Eds.) Raptors in Human Landscapes: Adaptations to Built and Cultivated Environments. Academic Press. San Diego.
- BRIDGES, J.E. Y PREACHE, M. 1981. Biological influences of power frequency electric fields. A tutorial review from a physical and experimental viewpoint. IEEE 69: 1092-1120.
- BROWN, W.M., GAUTHREAUX, S.A. JR. Y MILLER, A.D. 1994. Mitigating Bird Collisions with Power Lines: The State of the Art in 1994. Avian Power Line Interaction Committee (APLIC). 150pp.
- BROWN, W.M. Y DREWIEN, R.C. 1995. Evaluation of two power lines markers to reduce crane and waterfowl collision mortality. Wildlife Society Bulletin 23: 217-227.
- CALDERÓN, J., CASTROVIEJO, J. GARCÍA, L. Y FERRER, M. 1988. El águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*) en Doñana: algunos aspectos de su reproducción. Alytes 5: 47-72.
- CEPEDA, J., MIGENS, E. Y FERRER, M. 1990. Reducción de la mortalidad por electrocución del águila imperial ibérica. Agencia de Medio Ambiente – Compañía Sevillana de Electricidad. Sevilla. Informe inédito.



- CSE, REE, IBERDROLA & CSIC. 1996. Análisis de impactos de líneas eléctricas sobre la avifauna de espacios naturales protegidos, manual para valoración de riesgos y soluciones. Sevilla, 49pp.
- COON, N.C., LOCKE, L.N., CROMARTIE, E. Y REICHEL, W.L. 1970. Causes of bald eagle mortality, 1960-1965. *Journal of Wildlife Disease* 6:72-76.
- DAWSON, J.W. Y MANNAN, R.W. 1994. The ecology of Harris' Hawks in urban environments. *Arizona Game and Fish Dept.* 56pp.
- DECRETO 194/1990, DE 19 JUNIO. Consejería de Presidencia, Junta de Andalucía. BOJA 79, del 21 de Septiembre de 1990.
- DECRETO FORAL 129/1991, DE 4 ABRIL. Consejería de Industria, Comercio y Turismo, Navarra. BON 53, del 26 Abril.
- DECRETO 32/1998, DE 30 ABRIL. Consejería de Desarrollo Autonómico, Administraciones Públicas y Medio Ambiente, La Rioja. BOR 54, del 5 Mayo.
- DECRETO 40/1998, DE 5 MARZO. Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional, Comunidad de Madrid. BOCM 71, de 25 Marzo.
- DECRETO 5/1999, DE 2 FEBRERO. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, Comunidad de Castilla La Mancha. DOCLM 9, de 12 Febrero.
- DECRETO 47/2004, DE 20 ABRIL. Consejería de Economía y Trabajo. DOE 48, de 27 Abril.
- DECRETO 34/2005, DE 8 FEBRERO. Departamento de Medio Ambiente, Comunidad de Aragón. BOA 26, de 28 Febrero.
- DECRETO 178/2006, DE 10 OCTUBRE. Consejería de la Presidencia, Junta de Andalucía. BOJA 209, de 27 Octubre.
- EDWARDS, C.C. 1969. Winter behaviour and population dynamics of American eagles in Utah. Tesis doctoral. Brigham Young University, Provo, Utah. 142pp.
- EMERSON, W.O. 1904. Destruction of birds by wires. *Condor* 6: 37-38.
- FAURE, R. 1988. Électricité de France et le genocide des oiseaux. *L'Oiseau* 10: 16-23.
- FERRER, M., DE LA RIVA, M. Y CASTROVIEJO, J. 1986. Mueren las aves en los tendidos eléctricos de Doñana. *Trofeo* 191: 45-50.
- FERRER, M., CASTROVIEJO, J. Y DE LA RIVA, M. 1987. Los tendidos eléctricos matan águilas en Doñana. *Conocer* 54: 64-67.
- FERRER, M. Y DE LA RIVA, M. 1987. Impact of power lines on the population of birds of prey in the Doñana National Park and its environments. *Ricerche di Biologia della Selvaggina* 12: 97.
- FERRER, M. 1988. Electrocutación de águilas imperiales en Andalucía: importancia, zonas de alto riesgo y medidas protectoras. *Bios* 6: 14-16.
- FERRER, M. Y DE LE COURT, C. 1988. Les Aigles Impériaux espagnols menacés d'électrocution. *L'Homme et L'Oiseau* 4: 231-236.
- FERRER, M. 1990. Nest defense by male and female Spanish imperial eagles. *Journal of Raptor Research* 24(4): 77-79.
- FERRER, M. Y CALDERÓN, J. 1990. The Spanish imperial eagle *Aquila adalberti* C.L. Brehm, 1861 in Doñana National Park (southwest Spain): A study of population dynamics. *Biological Conservation* 51: 151-161.
- FERRER, M., DE LA RIVA, M. Y CASTROVIEJO, J. 1991. Electrocutation of raptors on power lines in southwestern Spain. *Journal of Field Ornithology* 62: 181-190.
- FERRER, M. E HIRALDO, F. 1991. Evaluation of management techniques for the Spanish imperial eagle. *Wildlife Society Bulletin* 19: 436-442.
- FERRER, M. 1992a. Natal dispersal in relation to nutritional condition in Spanish imperial eagles. *Ornis Scandinavica* 23(1): 104-106.



- FERRER, M. 1992b. Regulation of the period of postfledging dependence in the Spanish Imperial Eagle *Aquila adalberti*. *Ibis* 134: 128-133.
- FERRER, M. Y DE LE COURT, C. 1992. Sex identification in the Spanish imperial eagle. *Journal of Field Ornithology* 63(3): 359-364.
- FERRER, M. E HIRALDO, F. 1992. Man-induced sex-biased mortality in the Spanish imperial eagle. *Biological Conservation* 60: 57-60.
- FERRER, M. 1993a. Reduction in hunting success and settlement strategies in young Spanish imperial eagles. *Animal Behaviour* 45: 406-408.
- FERRER, M. 1993b. Ontogeny of dispersal distances in young Spanish imperial eagles. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 32: 259-263.
- FERRER, M. 1993c. Juvenile dispersal behaviour and natal philopatry of a long-lived raptor, the Spanish Imperial Eagle *Aquila adalberti*. *Ibis* 135: 132-138.
- FERRER, M. 1993d. El Águila Imperial. Editorial Quercus. Madrid. 231pp.
- FERRER, M., JANSS, G. Y CHACÓN, M.L. 1993. Mortalidad de aves en tendidos eléctricos: situación actual en España. *Quercus* 94: 20-23.
- FERRER, M., JANSS, G., Y SÁNCHEZ, J. 1993. Collision et électrocution chez les oiseaux en Espagne. *Actes du colloque international Lignes électriques et environnement*. Metz.
- FERRER, M. Y DONÁZAR, J.A. 1996. Density-dependent fecundity by habitat heterogeneity in an increasing population of Spanish imperial eagles. *Ecology* 77(1): 69-74.
- FERRER, M. Y JANSS, G. 1996a. Procedure to select power poles which causes bird electrocutions. Second International Conference on Raptors. Raptor Reserch Foundation. Urbino, Italia.
- FERRER, M. Y JANSS, G. 1999. (Eds). 1999. *Aves y líneas eléctricas*. Ed. Quercus, Madrid. 255pp.
- FERRER, M. Y NEGRO, J.J. 2004. The near extinction of two large European predators: super-specialists pay a price. *Conservation Biology*. 18(2): 344-349.
- FERRER, M. Y PENTERIANI, V. 2007. Supplementary feeding and the population dynamic of the Spanish imperial eagle. *Ardeola*. 54(2): 359-363.
- FIEDLER, G. Y WISSNER, A. 1980. Overhead electric lines as a mortal danger to storks. *Ecology of Birds* 2: 59-109.
- FRANSON, J.C., SILOE, L. Y THOMAS, J.J. 1995. Causes of eagle deaths. En E.T. LaRoe, G.S. Farris, C.E. Puckett y P.D. Doran (Eds.) *Our Living Resources: A Report Ecosystem*. Natural Biological Service. Washington D.C.
- GARZÓN, J. 1977. Birds of Prey in Spain, the present situation. En *World Conference on Birds of Prey*. International Council for Bird Preservation. Viena.
- GARY, C. 1979. Le transport de l'énergie électrique. *La Recherche* 98: 222-231.
- HAAS, G. 1970. Naturschutzprobleme in Oberschwaben – Veröff. Landesstelle Naturschutz Landschaftspflege Bad. Württ. 38:245-250.
- HAAS, D. 1980. Endangerment of four large birds by electrocution- a documentation. *Ecology of Birds* 2: 7-57.
- HALLINAN, T. 1922. Bird Interference on High Tension Electric Transmission Lines. *Auk* 39: 573.
- HEIJNIS, R. 1980. Bird mortality from collision with conductors for maximum tension. *Ecology of Birds* 2: 111-129.
- JANSS, G. Y SÁNCHEZ, J. 1994. Análisis de impactos de líneas eléctricas sobre la avifauna. 1<sup>eras</sup> Jornadas CODA sobre el impacto de los tendidos eléctricos en la avifauna. Coordinadora de Organizaciones de Defensa Ambiental. Madrid.
- JANSS, G. Y FERRER, M. 1996a. Impact of power lines on birds. Second International Conference on Raptors. Raptor Research Foundation. Urbino, Italia.



- JANSS, G. Y FERRER, M. 1996b. Susceptibilidad de aves para la colisión con tendidos eléctricos. Segundas Jornadas sobre líneas eléctricas y el medio ambiente. Red Eléctrica de España. Madrid.
- JANSS, G., NAVAZO, V., ROIG, J., SÁNCHEZ, J. Y FERRER, M. 1996. Nidos de cigüeña blanca en torres de líneas eléctricas. *Quercus* 130: 18-22.
- JANSS, G., SÁNCHEZ, J., NAVAZO, V. Y ROIG, J. 1996. Estudios sobre la nidificación de cigüeñas blancas en la línea a 400 kV Almaraz-Guadame. Segundas Jornadas sobre líneas eléctricas y el medio ambiente. Red Eléctrica de España. Madrid.
- JANSS G. Y SÁNCHEZ, I. 1997. Productivity of White Storks on different nest foundations. *Ardeola* 44: 101-103.
- JANSS, G. 1998. Nests of White Storks on utility towers. *Wildlife Society Bulletin* 26: 274-278.
- JANSS, G. Y FERRER, M. 1999. Mitigation of raptor electrocution on steel power poles. *Wildlife Society Bulletin* 27(2): 263-273.
- JANSS, G., LAZO, A. Y FERRER, M. 1999. Use of raptor models to reduce avian collision with power lines. *Journal of Raptor Research* 33: 154-159.
- JANSS, G. 2000. Avian mortality from power lines: a morphological approach of a species-specific mortality. *Biological Conservation* 95: 353-359.
- JANSS, G. 2000. Bird behaviour in and near a wind farm at Tarifa, Spain: Management Considerations. National Avian Wind Power Planning Meeting III. San Diego.
- JANSS, G. Y FERRER, M. 2000. Common crane and great bustard collision with power lines: mortality rate and risk exposure. *Wildlife Society Bulletin* 28: 675-680.
- JANSS, G. 2001. Birds and power lines: A field of tension. Tesis Doctoral. Universidad de Utrecht (Holanda). Estación Biológica de Doñana. 175pp.
- JANSS, G. Y FERRER, M. 2001. Avian electrocution mortality in relation to pole design and adjacent habitat in Spain. *Bird Conservation International* 11:3-12.
- LEDGER, J.A. 1980. Plea to save Africa's birds from electrocution – focus on ESCOM research committee's research. *Megawatt* 63: 11-13.
- LEDGER, J.A. Y ANNEGARN, H.J. 1981. Electrocution hazards to the Cape vulture *Gyps coprotheres* in South Africa. *Biological Conservation* 20: 15-24.
- LEDGER, J.A., HOBBS, J.C.A. Y SMITH, T.V. 1993. Avian interactions with utility structures: Southern Africa experiences. International Workshop on Avian Interactions with Utility Structures. Palo Alto, California.
- LEE, J.M.JR. Y MEYER, J.R. 1977. Work plan for a study of the effects of Bonneville Power Administration transmission lines on bird flight behaviour and collision mortality. Informe inédito. Bonneville Power Administration. 9pp.
- LEHMAN, R.N., KENNEDY, P.L. Y SAVIDGE, J.A. 2007. The state of the art in raptor electrocution research: A global review. *Biological Conservation* 136: 159-174.
- LONGRIDGE, M.W. 1986. The Impacts of Transmission Lines on Bird Flight Behaviour with reference to Collision Mortality and System Reliability. Eskom Bird Research Committee. Johannesburgo.
- LÓPEZ-LÓPEZ, P., FERRER, M., MADERO, A., CASADO, E. Y MCGRADY, M. 2011. Solving Man-Induced Large-Scale Conservation Problems: The Spanish Imperial Eagle and Power Lines. *PlosOne* 6.
- MCCANN, K.I. Y WILKINS, H.J. 1995. Ariadne-Venus 400kV Transmission Powerline: A study of the annual biology and movement patterns of the three crane species in the KwaZulu/Natal midlands for purposes of aiding in the selection of the route for the Ariadne-Venus 400kV powerline. Eskom and Endangered Wildlife Trust. Informe inédito.
- MARKUS, M.B. 1972. Mortality of vultures caused by electrocution. *Nature* 238: 228.
- MARSH, G.P. 1864. Physical geography as modified by human action. C. Scribner. New York.



- MARSHALL, W. 1940. "Eagle guard" developed in Idaho. *Condor* 42: 166.
- MICHENER, H. 1928. Where engineer and ornithologist meet: Transmission line troubles caused by birds. *The Condor* 30: 169-175.
- MILLER, A.D., BOEKER, E.L. THORSELL, R.S. Y OLENDORFF, R.R. 1975. Suggested Practices for Raptor Protection on Power Lines. Edison Electric Institute and Raptor Research Foundation. 21pp.
- NEGRO, J.J. 1987. Adaptación de los tendidos eléctricos al entorno. *Alytes* 1: 106pp.
- NEGRO, J.J., FERRER, M., SANTOS, C. Y REGIDOR, S. 1988. Eficacia de dos métodos para prevenir electrocuciones de aves en tendidos eléctricos. *Ardeola* 36: 201-206.
- NEGRO, J.J. Y FERRER, M. 1995. Mitigating measures to reduce electrocution of birds in power lines: a comment on Bevanger's review. *Ibis* 137: 423-424.
- NIKOLAUS, G. 1984. Large numbers of bird killed by electric powerline. *Scopus* 8:42.
- OLENDORFF, R.R. 1972. Eagles, sheeps and power lines. *Colorado Outdoors* 2: 3-11.
- OLENDORFF, R.R., MILLER, A.D. Y LEHMAN, R.N. 1981. Suggested Practices for Raptor Protection on Power Lines—The State of the Art in 1981. *Journal of Raptor Research* 4: 111pp.
- OLENDORFF, R.R., ANSELL, A.R., GARRETT, M.G., LEHMAN, R.N. Y MILLER, A.D. 1996. Suggested Practices for Raptor Protection on Power Lines—The State of the Art in 1996. Avian Power Line Interaction Committee (APLIC). Edison Electric Institute. 150pp.
- O'NEIL, T.A. 1988. Analysis of bird electrocutions in Montana. *Journal of Raptor Research* 22: 27-28.
- PENTERIANI, V. 1998. Birds and Power Lines. W.W.F. / Tuscany Region, Italy.
- REAL DECRETO 1432/2008, de 12 Septiembre. Ministerio de Economía y Hacienda. BOE 222, de 13 de Septiembre.
- REGIDOR, S., SANTOS, C., FERRER, M. Y NEGRO, J.J. 1988. Experimento con modificaciones para postes eléctricos en el Parque Nacional de Doñana. *Ecología* 2: 251-256.
- RENSEN, T.A. 1975. Vogelsterfte in Nederland tengevolge van aanvaringgen hoogspanningslijnen. Dutch Institute for Forestry and Nature research (I.B.N.). 65pp.
- SERGIO, F., MARCHESI, L., PEDRINI, P., FERRER, M. Y PENTERIANI, V. 2004. Electrocutation alters the distribution and density of a top predator, the eagle owl *Bubo bubo*. *Journal of Applied Ecology* 41: 836-845.
- SCOTT, R.E., ROBERTS, L.J. Y CADBURY, C.J. 1972. Bird deaths from powerlines at Dungeness. *British Birds* 65: 273-286.
- TURCEK, F.J. 1960. On the damage by birds to power and communication lines. *Bird Study* 7: 231-236.
- U.S. FISH AND WILDLIFE SERVICE. 1988. Re: eagle and raptor electrocution. Carta de C. Vaughn, Jr., Special Agent, para los operadores de electricidad de Nebraska, fechada el 28 Junio 1988. Omaha, 4pp.
- WALCOTT, C. 1974. The homing of pigeons. *American Science* 62: 542-552.
- WITWER, C.R., KAPLAN, S.D., SCOTT-WALTON, B.L., KREBS, J.S. Y YOUNG, J.R. 1978. Occupational safety and health effects of high-voltage transmission lines. Center for Occupational and Environmental Safety and Health. Menlo Park. 73pp.



# ANEXOS









# ANEXOS

<b>1. TIPOS MÁS FRECUENTES DE APOYOS</b> .....	133
<b>A. Postes con aisladores suspendidos</b> .....	135
1. Tresbolillo y similares .....	135
2. Bóveda .....	136
3. Montaje “O” .....	137
<b>B. Postes con aisladores rígidos</b> .....	138
1. Tresbolillos y similares.....	138
2. Bóveda .....	139
3. Montaje “O” .....	140
4. Montaje “1” .....	141
<b>C. Postes de amarre con puentes por debajo de los aisladores</b> .....	142
1. Tresbolillo .....	142
2. Bóveda .....	143
3. Montaje “O” .....	144
<b>D. Postes de amarre con puentes por encima de los aisladores</b> .....	145
1. Montaje “O” .....	145
2. Montaje “1” .....	146
<b>E. Seccionadores</b> .....	147
1. Seccionadores unipolares por debajo.....	147
2. Seccionadores unipolares por encima .....	148
3. Seccionador tripolar en vástago.....	149
4. Seccionador tripolar en cabecera .....	150
<b>2. MEDIDAS CORRECTORAS ANTIELECTROCUCIÓN</b> .....	151
<b>A. Aislamiento de conductores</b> .....	153
1. Cable trenzado .....	153
2. Aislante termo-retráctil .....	154
3. Forro rígido aislante .....	155
4. Aislamiento de puentes .....	156
<b>B. Aislamiento de la cruceta</b> .....	157
1. Placa aislante debajo del aislador.....	157
2. Placa aislante encima del aislador .....	158
3. Manta aislante cubriendo la cruceta .....	159
4. Placa aislante en combinación con manta aislante en la cruceta .....	160

<b>C. Disuasores</b> .....	161
1. Barandillas finas.....	161
2. Triángulo de plástico .....	162
3. Abrazaderas en peine sobre cruceta .....	163
4. Pletinas de plástico verticales .....	164
5. Varillas blancas verticales .....	165
6. Posaderos en “T” en lo alto del apoyo.....	166
7. Posaderos en “T” en la punta de la cruceta .....	167
8. Posadero cuadrangular .....	168
9. Escobilla o peine .....	169
10. Tirantes en combinación con posadero .....	170
11. Pletina inclinada .....	171
<b>D. Combinación de aisladores y disuasores</b> .....	172
1. Placa aislante sobre el aislador y disuasores triangulares.....	172
2. Manta aislante sobre puente y pletinas verticales en la cruceta .....	173
<b>E. Cambio de diseño</b> .....	174
1. Cambio del aislador rígido por suspendido .....	174
2. Cambio de seccionador en cabecera por uno en vástago.....	175
3. Alargamiento del aislador .....	176

### **3. MEDIDAS CORRECTORAS ANTICOLISIÓN** .....

1. Espiral blanca de polipropileno.....	179
2. Espiral naranja de polipropileno .....	180
3. Espiral amarilla de polipropileno .....	181
4. Tiras en “X” de neopreno sujetas por mordaza de elastómetro con cinta luminiscente .....	182
5. Abrazaderas negras de plástico colgantes I .....	183
6. Abrazaderas negras de plástico colgantes II .....	184
7. Silueta de aves fluorescentes de plástico .....	185
8. Bolas amarillas con banda negra vertical .....	186
9. Aspa de tres lados con pegatinas reflectantes .....	187

# ANEXO 1

## Tipos más frecuentes de apoyos







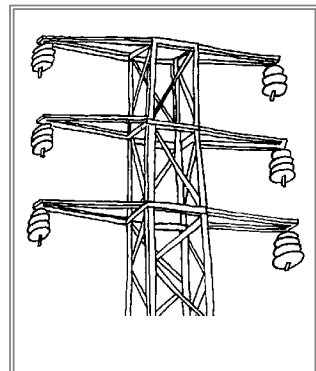
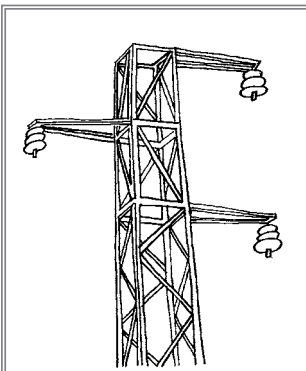
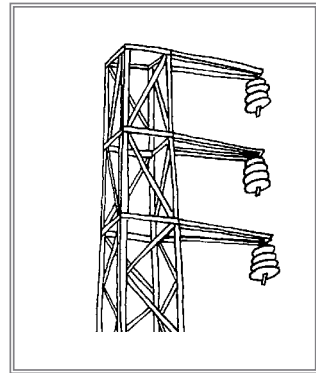
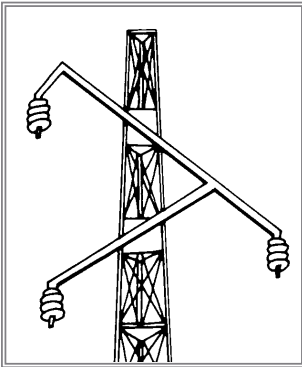
# A. Postes con aisladores suspendidos

## 1. Tresbolillo y similares

**Características:** las fases penden de cadenas de aisladores (dos o más platos) con una disposición al tresbolillo o montaje vertical de circuito simple (tres fases) o doble (seis fases).

**Peligrosidad:** en general baja. Depende de la longitud de la cadena de aisladores (preferiblemente será de 3 o más platos) y del tamaño del ave. La cruceta canadiense es considerada más segura que otras crucetas. Para aves de gran tamaño el riesgo es mayor.

**Medidas recomendables:** no existen medidas disuasorias de escaso coste y eficacia comprobada, dada la escasa mortalidad causada por este tipo de postes. En el caso de situaciones de alto riesgo para aves de gran tamaño se recomienda la modificación del aislador, si es posible (elevado coste), el aislamiento de la cruceta con manta aislante (menor coste) o la colocación de barreras de protección.



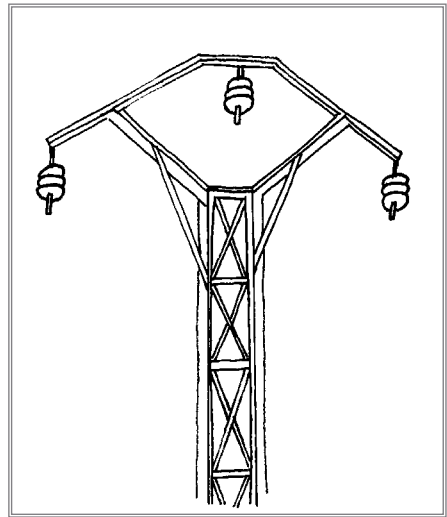
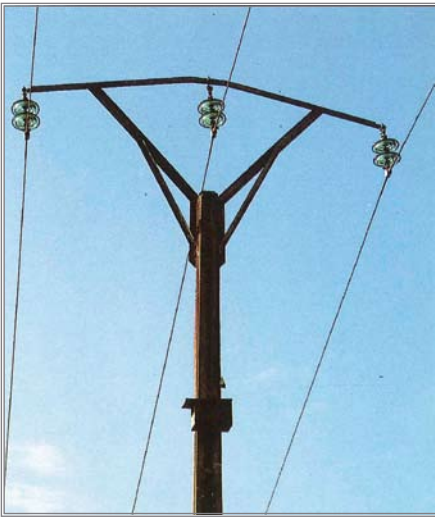


## 2. Bóveda

**Características:** Las fases (tres) discurren en dos planos horizontales con la central ligeramente elevada, colgando de aisladores suspendidos (dos o más platos) de una cruceta en forma de bóveda.

**Peligrosidad:** en general es baja. Depende del tamaño del ave (es mayor para aves grandes) y de la longitud de la cadena de aisladores: las laterales serán preferiblemente de 3 o más platos, pero la longitud de la cadena central es difícilmente ajustable a este diseño. Para aves medianas y pequeñas hay riesgo de electrocución cuando utilicen el interior de la bóveda, tanto mayor cuanto menor sea la distancia entre la fase central y la testa de apoyo.

**Medidas recomendadas:** no se han ensayado medidas específicas para este diseño de poste. En caso de elevado riesgo puede aplicarse el aislamiento de los conductores, o la modificación de la longitud de los aisladores laterales y aislamiento con manta en la zona baja-interior de la bóveda y/o del conductor central.



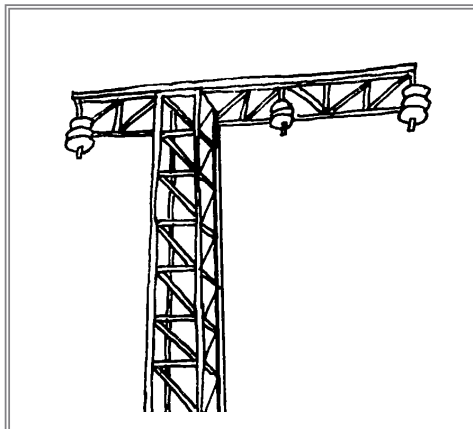
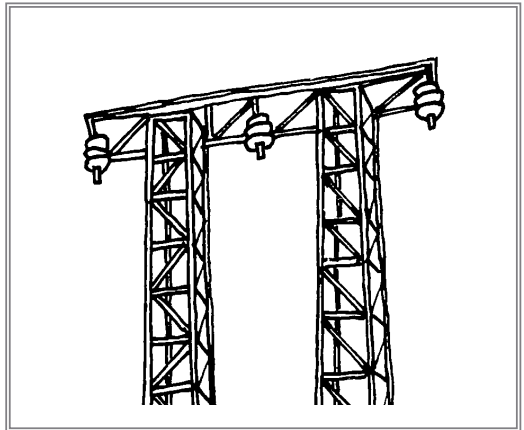
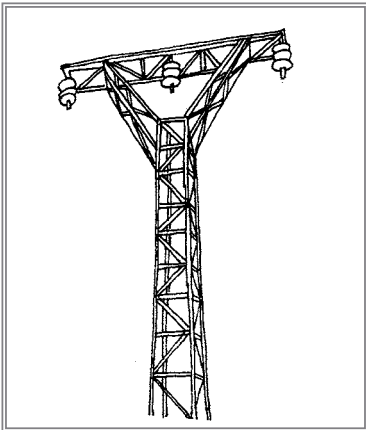


### 3. Montaje “O”

**Características:** tres fases en un mismo plano horizontal, pendientes de cadenas de aisladores suspendidos de dos o más platos.

**Peligrosidad:** en general baja. Depende del tamaño del ave (mayor en el caso de aves grandes) y de la longitud de la cadena de aisladores, que serán preferiblemente de 3 o más platos. En los montajes sobre cruceta triangular, la longitud de la cadena central es difícilmente ajustable para impedir la electrocución de aves medianas y pequeñas que puedan utilizar el ángulo interior. Tanto mayor es el riesgo de electrocución cuanto menor sea la distancia entre la fase central y la testa de apoyo.

**Medidas recomendables:** no se han ensayado medidas específicas para este diseño de poste. En caso de elevado riesgo puede aplicarse el aislamiento de los conductores o de la cruceta o la modificación de la longitud de los aisladores laterales.





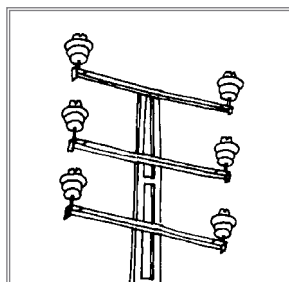
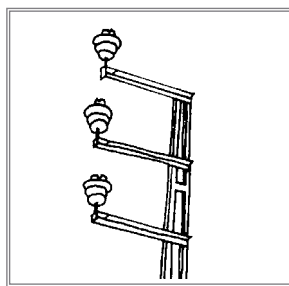
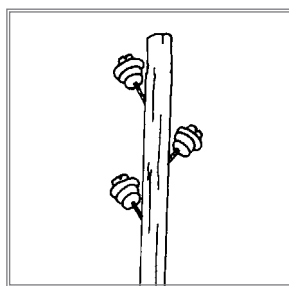
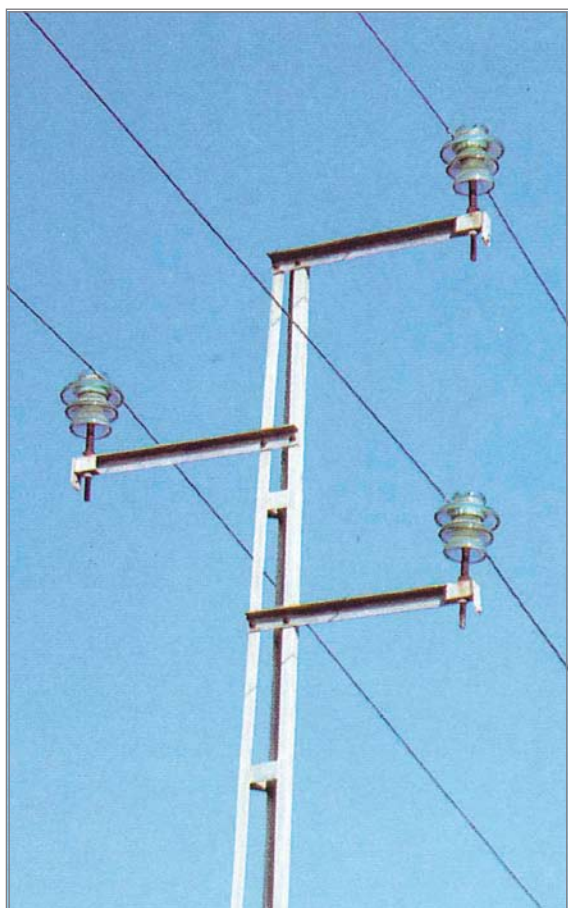
## B. Postes con aisladores rígidos

### 1. Tresbolillos y similares

**Características:** las tres fases se apoyan sobre aisladores rígidos de un solo cuerpo con una disposición al tresbolillo (con o sin cruceta) o en montaje vertical de circuito simple (tres fases) o doble (seis fases).

**Peligrosidad:** elevada para todo tipo de aves, salvo en el caso de postes de madera sin cable de derivación o tierra.

**Medidas recomendadas:** la manta aislante en la cruceta es la medida más barata de eficacia comprobada. Alternativamente podría usarse un forro rígido para cubrir el aislador y parte del cable.





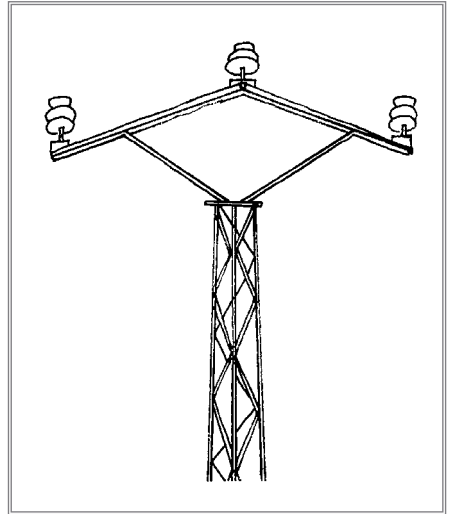


## 2. Bóveda

**Características:** las tres fases discurren en dos planos horizontales, con la central ligeramente elevada, apoyadas sobre aisladores rígidos de un solo cuerpo sobre una cruceta en forma de bóveda.

**Peligrosidad:** elevada para todo tipo de aves.

**Medidas recomendadas:** forro rígido aislante que cubra el aislador y parte del cable o aislar la cruceta en combinación con el aislamiento de la fase central para evitar electrocuciones por contacto entre dos cables.



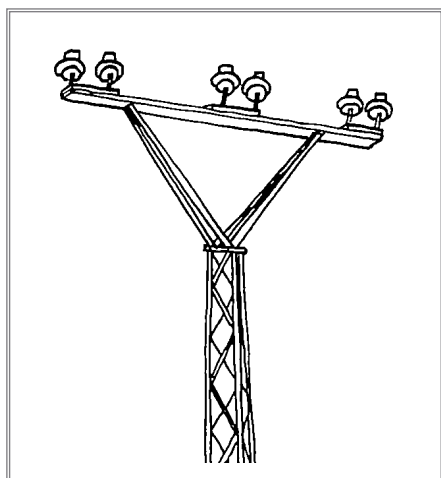
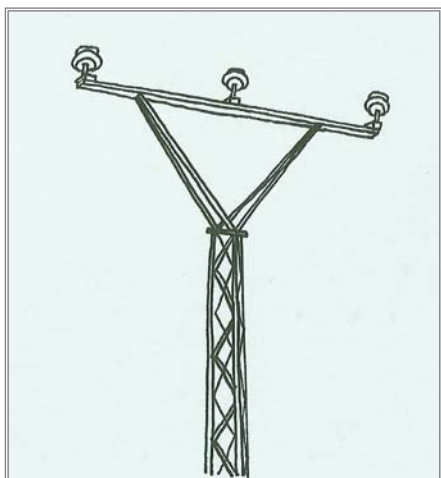


### 3. Montaje “O”

**Características:** tres fases en un mismo plano horizontal, apoyadas sobre aisladores rígidos simples o dobles de un solo cuerpo.

**Peligrosidad:** elevada para todo tipo de aves.

**Medidas recomendables:** forro rígido aislante sobre cada aislador que cubra parte del cable, o aislar la cruceta en combinación con el aislamiento de la fase central para evitar electrocuciones por contacto entre dos cables.



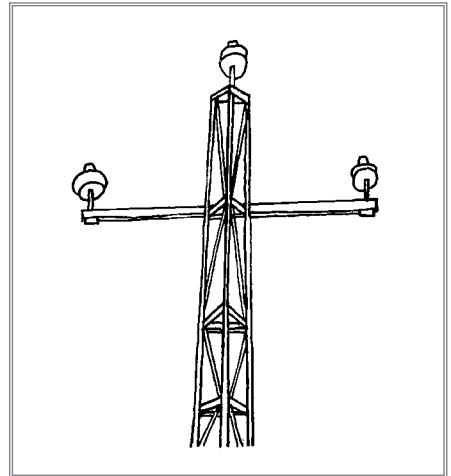
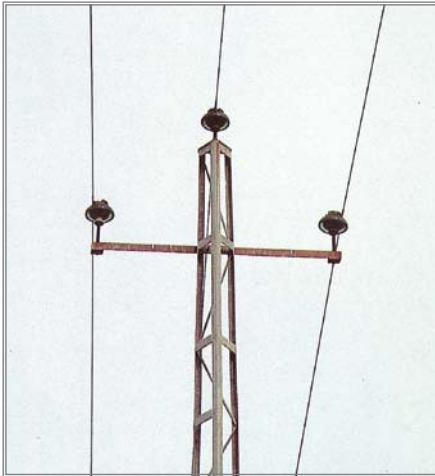


## 4. Montaje “1”

**Características:** tres fases en dos planos, con la fase central elevada, apoyadas sobre aisladores rígidos simples o dobles de un solo cuerpo sobre la cruceta en cruz.

**Peligrosidad:** elevada para todo tipo de aves.

**Medidas recomendables:** placa aislante bajo el aislador central y mantas aislantes cubriendo los brazos laterales de la cruceta, pasando por debajo de los aisladores. O cubrir todos los aisladores y parte del conductor con forros rígidos aislantes.





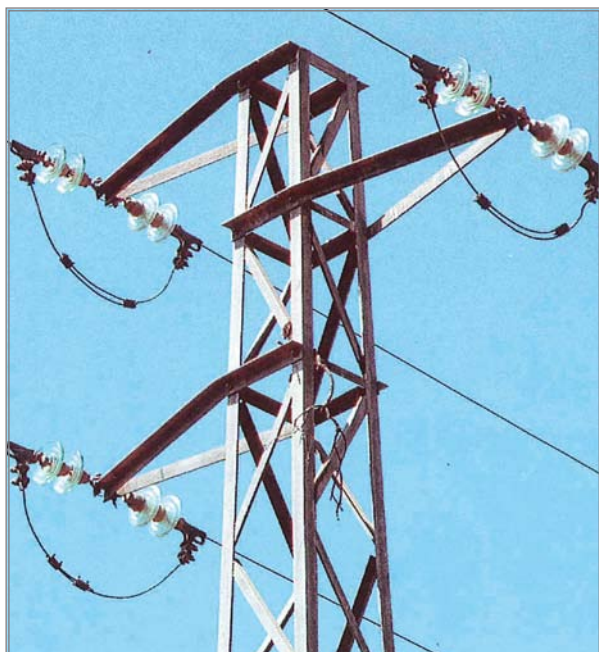
## C. Postes de amarre con puentes por debajo de los aisladores

### 1. Tresbolillos

**Características:** fases en tres planos horizontales dispuestas al tresbolillo, tensionados por cadenas de amarre constituidas por dos o más platos y dispuestas a ambos lados de la cruceta, con los puentes por debajo.

**Peligrosidad:** en general moderado. Depende del tamaño del ave. Las aves de gran tamaño contactan más fácilmente con el puente, por lo que la longitud de las cadenas será preferiblemente larga (tres o más platos). Los postes con un ángulo menor de  $90^\circ$  entre el cable y la cruceta superior (la cruceta más usada por parte de las aves) son más peligrosos por ser la distancia del conductor a la cruceta menor.

**Medidas recomendables:** aislamiento de la cruceta o del puente con manta aislante, incluyendo las grapas. La medida de mayor coste es el alargamiento de las cadenas de aisladores.



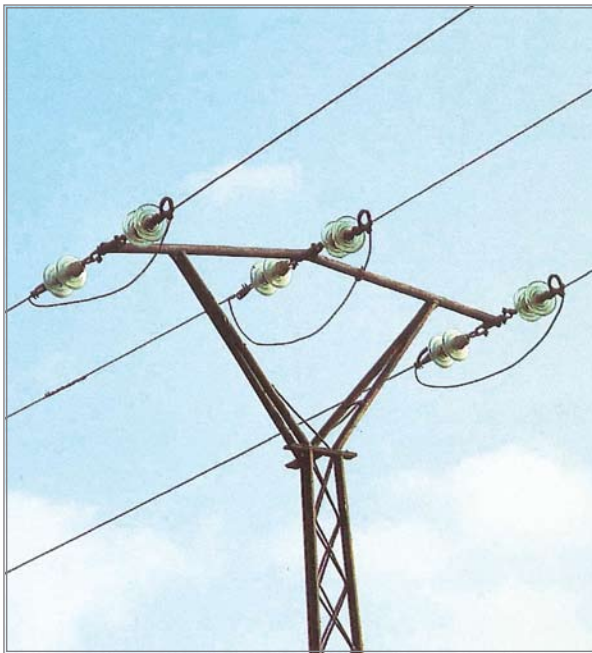


## 2. Bóveda

**Características:** tres fases en dos planos horizontales, con la central elevada sobre las laterales, tensionados por cadenas de amarre (dos o más platos), dispuestas a ambos lados de la cruceta en forma de bóveda y con puentes por debajo.

**Peligrosidad:** en general moderada. Depende del tamaño del ave (mayor riesgo en aves de mayor tamaño). La longitud de las cadenas laterales será preferiblemente de tres o más platos, pero la longitud del puente central es difícilmente ajustable en este diseño. Para aves medianas y pequeñas hay riesgo de electrocución cuando utilicen el interior de la bóveda, tanto mayor cuanto menos sea la distancia entre la fase central y la testa del apoyo.

**Medidas recomendables:** aislamiento de los puentes con manta aislante o de la cruceta, incluyendo la parte interior de la bóveda y/o el clave central.



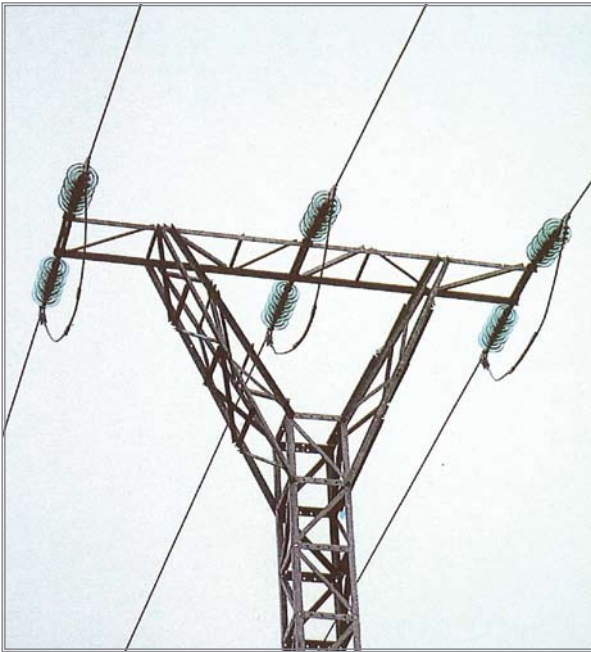


### 3. Montaje “O”

**Características:** tres fases en un mismo plano horizontal, tensionadas por cadenas de amarre (dos o más platos) dispuestas a ambos lados de la cruceta y con puentes por debajo.

**Peligrosidad:** en general moderado. Depende del tamaño del ave (mayor riesgo en aves de mayor tamaño). La longitud de las cadenas laterales será preferiblemente de tres o más platos pero la longitud del puente central es difícilmente ajustable en este diseño. Para aves medianas y pequeñas hay riesgo de electrocución cuando utilicen el interior de la cruceta, tanto mayor cuanto menor sea la distancia entre la fase central y la testa del apoyo.

**Medidas recomendables:** asilamiento de los puentes con manta aislante o aislamiento de la cruceta, incluyendo la cruceta del ángulo interior y/o el cable central.





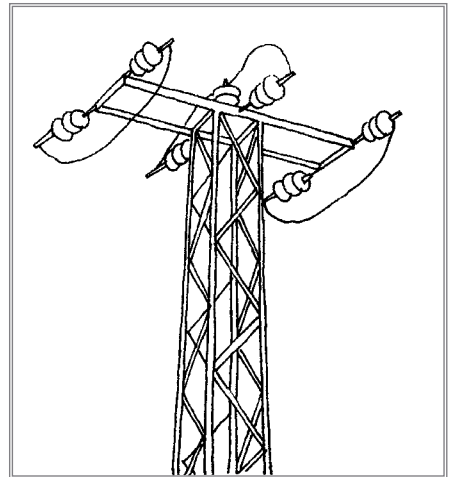
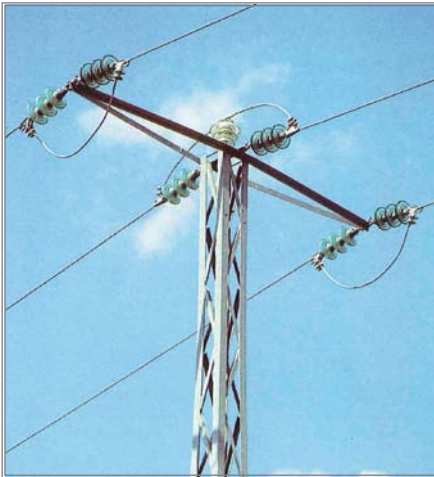
## D. Postes de amarre con puentes por encima de los aisladores

### 1. Montaje “O”

**Características:** tres fases en un mismo plano horizontal, tensionadas por cadenas de amarre (dos o más platos) a ambos lados de la cruceta, con puentes por encima de los tres pares de cadenas o al menos sobre las cadenas centrales.

**Peligrosidad:** muy elevada para todo tipo de aves.

**Medidas recomendables:** aislamiento de los puentes con manta aislante o sustituir el puente por un cable seco. En caso de un solo puente central se podría aislar éste y aplicar un aislamiento de la cruceta.



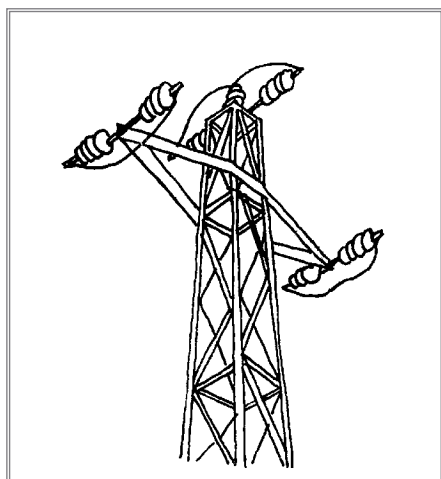
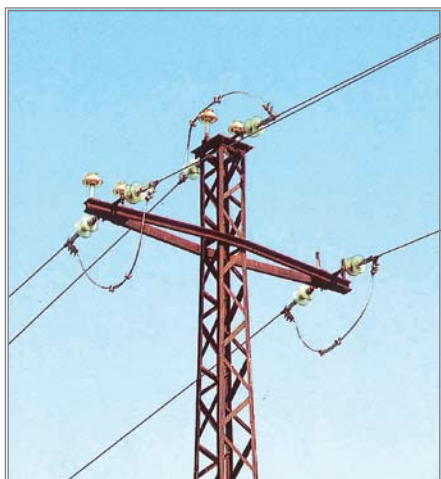


## 2. Montaje “1”

**Características:** tres fases en dos planos, con la superior elevada, tensionados por cadenas de amarre ancladas a ambos lados de una cruceta en forma de cruz, con puentes por encima de las tres pares de cadenas o, al menos, sobre las cadenas de amarre centrales.

**Peligrosidad:** muy elevada para todos tipo de aves.

**Medidas recomendables:** aislamiento de los puentes con manta aislante o sustituir el puente por un cable seco. En caso de un solo puente central se podría aislar éste y aplicar un aislamiento de las crucetas.







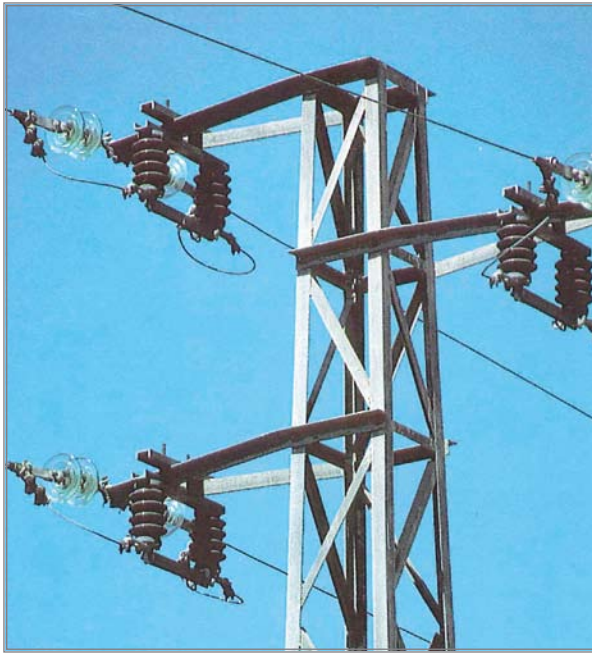
# E. Seccionadores

## 1. Seccionadores unipolares por debajo

**Características:** postes de amarre de distintos diseños con presencia de tres seccionadores independientes para cada fase, dispuestos bajo la cruzeta.

**Peligrosidad:** en general moderada, pero equiparable en cada diseño de apoyo a la peligrosidad de los postes de amarre con puentes por debajo.

**Medidas recomendables:** aislamiento de los puentes que llegan a cada seccionador unipolar con manta aislante o aislar la cruzeta.





## 2. Seccionadores unipolares por encima

**Características:** postes de amarre de distintos diseños con presencia de tres seccionadores independientes para cada fase, dispuestos sobre la cruceta.

**Peligrosidad:** muy elevada para todo tipo de aves.

**Medidas recomendables:** cambio de posición del seccionador a unipolar por debajo de la cruceta y aplicar las medidas propuestas que llegan al seccionador o aislar la cruceta.



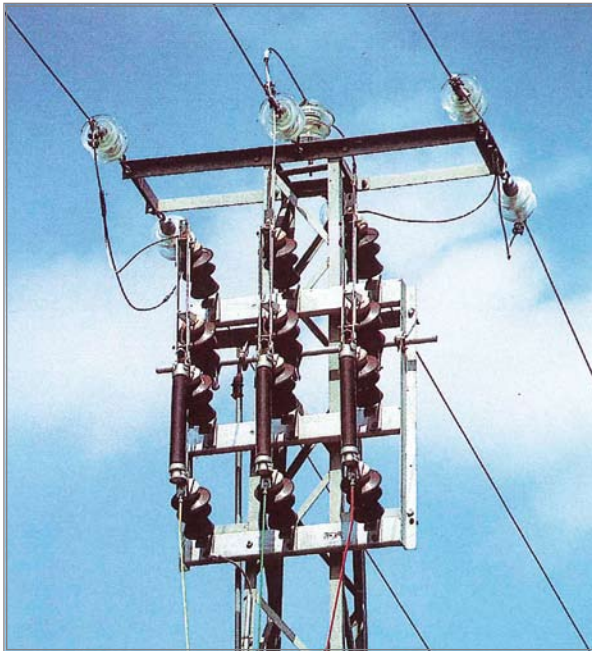


### 3. Seccionador tripolar en vástago

**Características:** postes con diversos diseños, que suelen ser de amarre y en muchas ocasiones asociados a un transformador, con un seccionador tripolar situado en el vástago del poste.

**Peligrosidad:** la presencia de un seccionador tripolar en vástago tiene poco efecto sobre la peligrosidad de un poste, dependiendo de la peligrosidad propia de cada diseño de cabecera.

**Medidas recomendables:** las adecuadas a cada diseño de cabecera y aislamiento de los puentes de al seccionador con manta aislante. En los finales de línea el seccionador, y el transformador en su caso, se dispondrán del lado de los cables (debajo del vano) para evitar puentes por encima de la cruceta.



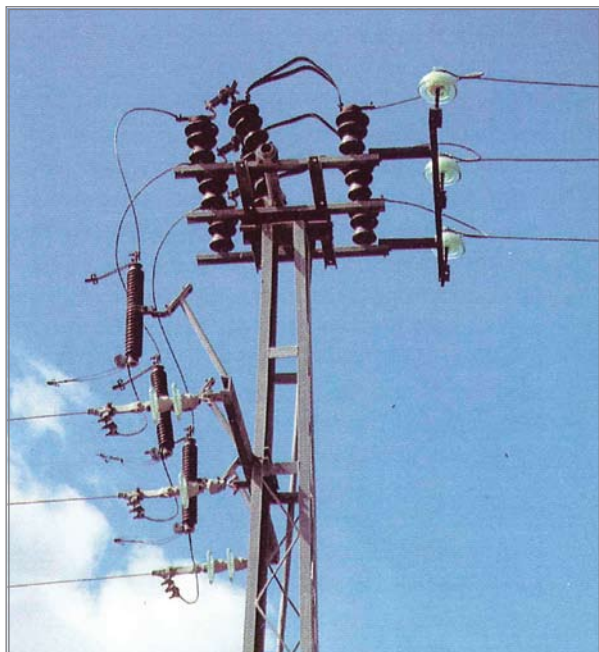


#### 4. Seccionador tripolar en cabecera

**Características:** postes con diseño montaje “O”, o más raramente montaje “1”, que suelen ser de amarre, con un seccionador tripolar situado en la cabecera del apoyo.

**Peligrosidad:** elevada para todo tipo de aves.

**Medidas recomendables:** sustitución por un seccionador en vástago y aislamiento con manta aislante. En los finales de línea el seccionador, en su caso, se dispondrán del lado de los cables (debajo del vano) para evitar puentes por encima de la cruceta.



# ANEXO 2

## Medidas correctoras antielectrocución



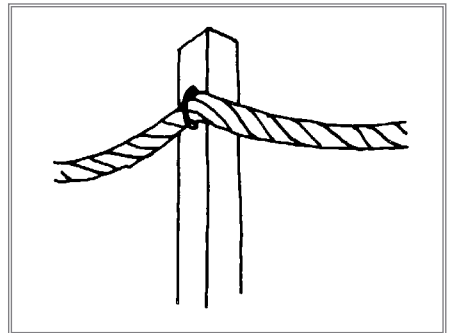




# A. Aislamiento de conductores

## 1. Cable trenzado

- Acción:** aislamiento completo
- Efecto:** eliminar posibilidad de electrocución
- Colocación:** nueva instalación
- Dimensión:** -
- Montaje:** corte suministro
- Material:** cable seco
- Equipo:** desconocido
- Tiempo:** desconocido
- Coste:** muy alto
- Eficacia:** buena
- Durabilidad:** mayor de 20 años.





## 2. Aislante termo-retráctil

**Acción:** aislamiento parcial de la fase

**Efecto:** prevenir contacto fase-tierra

**Colocación:** cubrir puentes y parte de la fase

**Dimensión:** 1 m a ambos lados del aislador

**Montaje:** corte suministro

**Material:** cinta termo-retráctil

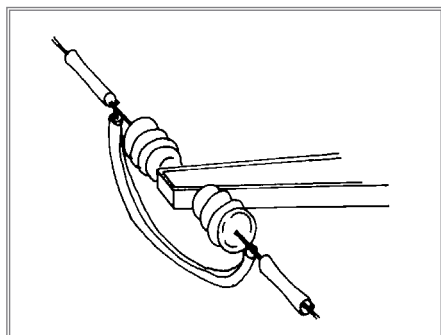
**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** 30 min por poste

**Coste:** alto

**Eficacia:** buena

**Durabilidad:** de 3 a 5 años.







### 3. Forro rígido aislante

**Acción:** aislamiento parcial de la fase

**Efecto:** prevenir contacto fase-tierra

**Colocación:** cubre el aislador y parte del conductor

**Dimensión:** 40 cm a ambos lados del aislador

**Montaje:** corte suministro

**Material:** varios

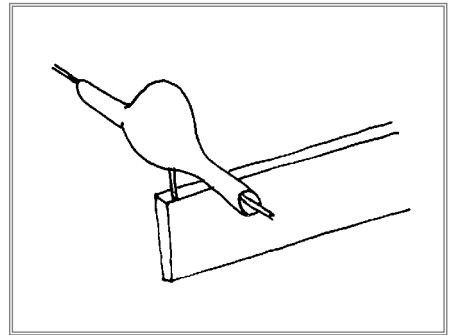
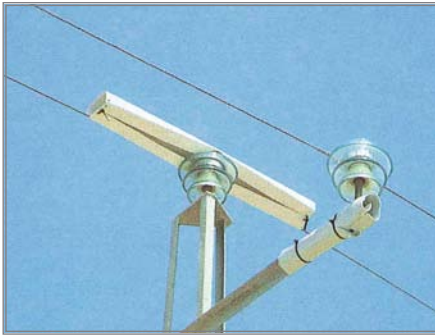
**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** 5 min por poste

**Coste:** medio

**Eficacia:** buena

**Durabilidad:** mayor de 3 años.





## 4. Aislamiento de puentes

**Acción:** aislamiento parcial de la fase

**Efecto:** prevenir contacto fase-tierra

**Colocación:** cubre el puente y las grapas con aislamiento o sustituir el puente por cable seco

**Dimensión:** según puente

**Montaje:** corte suministro

**Material:** varios

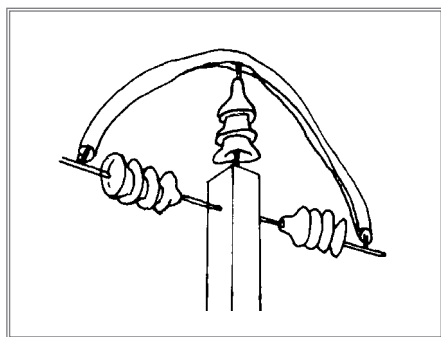
**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** 7 min por poste

**Coste:** bajo-medio

**Eficacia:** buena

**Durabilidad:** depende del material





## B. Aislamiento de la cruceta

### 1. Placa aislante debajo del aislador

**Acción:** aislamiento parcial de la cruceta

**Efecto:** prevenir contacto fase-tierra

**Colocación:** cubrir con una placa el poste debajo del aislador central (en montaje "1")

**Dimensión:** placa 30 cm x 30 cm

**Montaje:** corte suministro

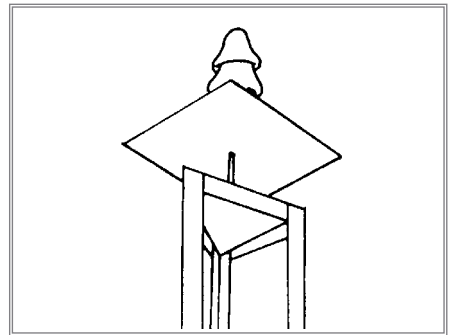
**Material:** plástico

**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** 5 min por poste

**Coste:** bajo

**Eficacia:** buena





## 2. Placa aislante encima del aislador

**Acción:** aislamiento parcial de la fase

**Efecto:** prevenir contacto fase-tierra

**Colocación:** cubrir la parte de arriba del aislador central (en montaje "1")

**Dimensión:** placa 30 cm x 30 cm

**Montaje:** corte suministro

**Material:** plástico

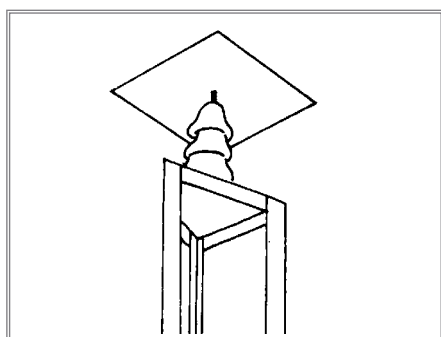
**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** 5 min por poste

**Coste:** bajo

**Eficacia:** buena pero difícil de colocar

**Durabilidad:** desconocida





### 3. Manta aislante cubriendo la cruceta

**Acción:** aislamiento parcial de la cruceta

**Efecto:** prevenir contacto fase-tierra

**Colocación:** cubrir con manta aislante una zona extensa de la cruceta bajo los aisladores

**Dimensión:** 50 cm

**Montaje:** corte suministro

**Material:** varios

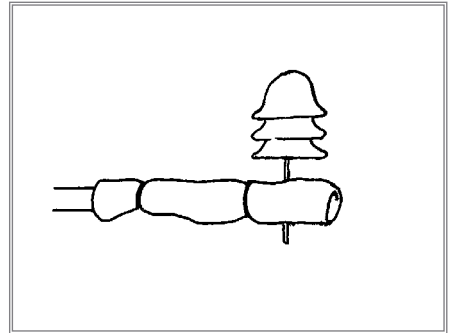
**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** 5 min por poste

**Coste:** bajo

**Eficacia:** buena

**Durabilidad:** mayor de 3 años





#### 4. Placa aislante en combinación con manta aislante en la cruceta

**Acción:** aislamiento parcial de la cruceta

**Efecto:** prevenir contacto fase-tierra

**Colocación:** colocar con una placa aislante debajo del aislador central y cubrir con manta aislante una zona extensa de la cruceta bajo los aisladores laterales

**Dimensión:** placa 30 cm x 30 cm, manta 50 cm

**Montaje:** corte suministro

**Material:** plástico y varias mantas aislantes

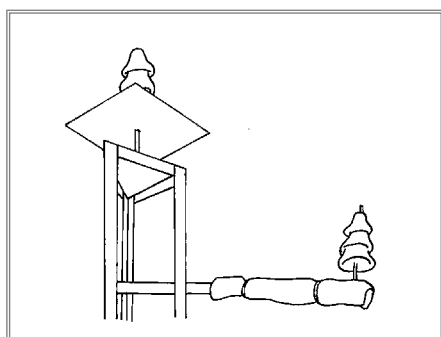
**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** 5 min por poste

**Coste:** bajo

**Eficacia:** buena

**Durabilidad:** mayor de 3 años





## C. Disuasores

### 1. Barandillas finas

**Acción:** colocar medida disuasoria

**Efecto:** dificultar contacto fase-tierra

**Colocación:** en el extremo de la cruceta encima del aislador suspendido

**Dimensión:** 30 cm

**Montaje:** corte suministro

**Material:** metal

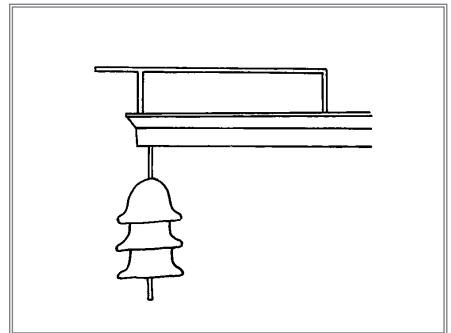
**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** 5 min por poste

**Coste:** bajo

**Eficacia:** no suficientemente contrastada

**Durabilidad:** mayor de 3 años





## 2. Triángulo de plástico

**Acción:** colocar medida disuasoria

**Efecto:** dificultar contacto fase-tierra

**Colocación:** en el extremo de la cruzeta encima del aislador suspendido

**Dimensión:** 30 cm de base por 30 cm de altura

**Montaje:** corte suministro

**Material:** plástico

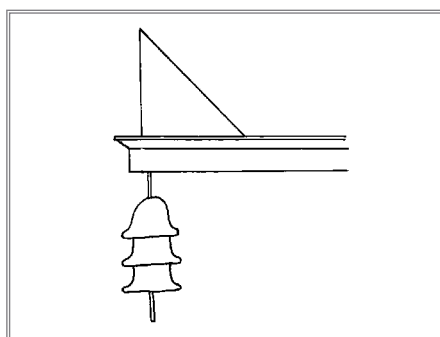
**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** 5 min por poste

**Coste:** bajo

**Eficacia:** no suficientemente contrastada

**Durabilidad:** mayor de 3 años







### 3. Abrazaderas en peine sobre cruceta

**Acción:** colocar medida disuasoria

**Efecto:** dificultar contacto fase-tierra

**Colocación:** cuatro abrazaderas en el extremo de la cruceta encima del aislador suspendido

**Dimensión:** 30 cm de base por 30 cm de altura

**Montaje:** corte suministro

**Material:** plástico

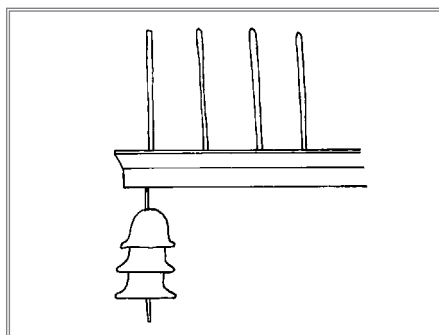
**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** 5 min por poste

**Coste:** bajo

**Eficacia:** no suficientemente contrastada

**Durabilidad:** mayor de 3 años





## 4. Pletinas de plástico verticales

**Acción:** colocar medida disuasoria

**Efecto:** dificultar contacto fase-tierra

**Colocación:** en el extremo de la cruceta encima de los puentes inferiores

**Dimensión:** 50 cm de longitud y 20 cm de altura

**Montaje:** corte suministro

**Material:** plástico

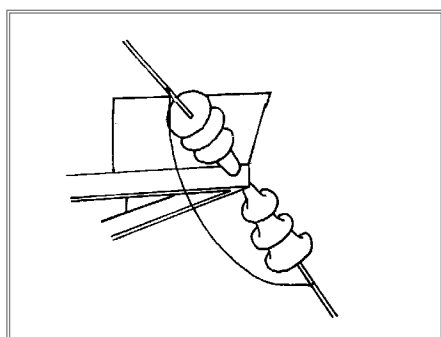
**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** 5 min por poste

**Coste:** bajo

**Eficacia:** mala

**Durabilidad:** mayor de 3 años





## 5. Varillas blancas verticales

**Acción:** colocar medida disuasoria

**Efecto:** dificultar contacto fase-fase o fase-tierra

**Colocación:** 8 varillas verticales sobre seccionador en cabecera

**Dimensión:** 50 cm de longitud y 25 cm de separación

**Montaje:** corte suministro

**Material:** plástico

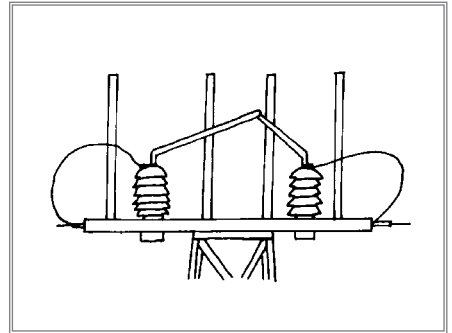
**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** 20 min por poste

**Coste:** moderado

**Eficacia:** mala

**Durabilidad:** mayor de 3 años





## 6. Posaderos en “T” en lo alto del apoyo

**Acción:** colocar medida disuasoria

**Efecto:** dificultar contacto fase-tierra

**Colocación:** en la parte alta del apoyo

**Dimensión:** 0,7 m de altura y 1 m de longitud

**Montaje:** corte suministro

**Material:** metal

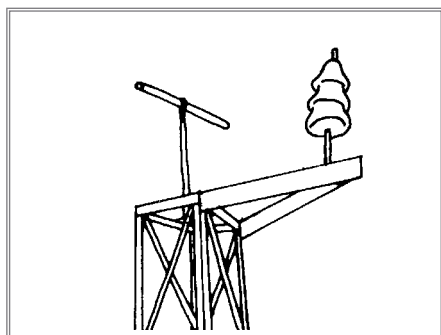
**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** desconocido

**Coste:** moderado

**Eficacia:** mala

**Durabilidad:** mayor de 5 años





## 7. Posaderos en “T” en la punta de la cruceta

**Acción:** colocar medida disuasoria

**Efecto:** dificultar contacto fase-tierra

**Colocación:** en la punta de la cruceta

**Dimensión:** varias (altura 50 cm aproximadamente)

**Montaje:** corte suministro

**Material:** metal

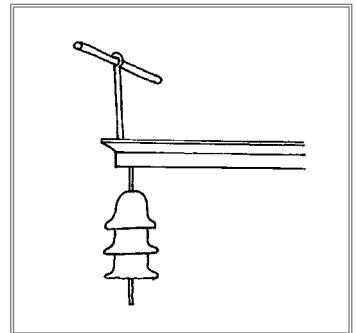
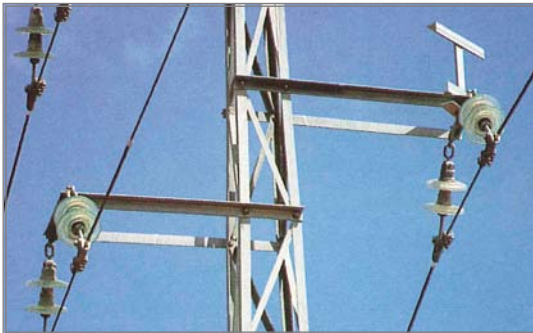
**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** desconocido

**Coste:** moderado

**Eficacia:** mala

**Durabilidad:** mayor de 5 años





## 8. Posadero cuadrangular

**Acción:** colocar medida disuasoria

**Efecto:** dificultar contacto fase-tierra

**Colocación:** en el extremo de la cruceta

**Dimensión:** varias

**Montaje:** corte suministro

**Material:** metal

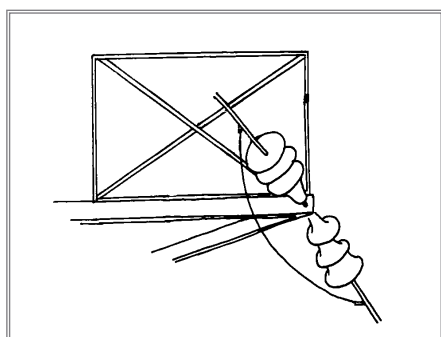
**Equipo:** desconocido

**Tiempo:** desconocido

**Coste:** desconocido

**Eficacia:** desconocido

**Durabilidad:** desconocido





## 9. Escobilla o peine

**Acción:** colocar medida disuasoria

**Efecto:** dificultar contacto fase-tierra

**Colocación:** en el extremo de la cruceta

**Dimensión:** 30 cm aproximadamente

**Montaje:** corte suministro

**Material:** metal

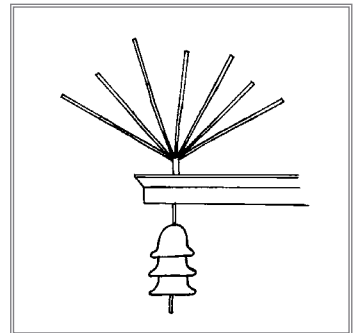
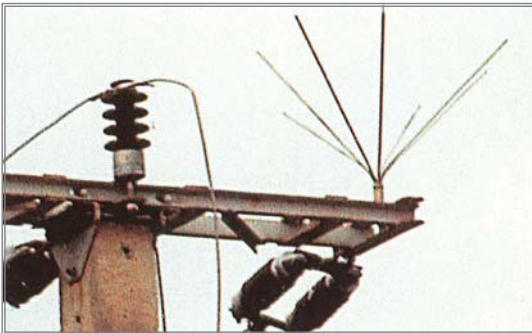
**Equipo:** desconocido

**Tiempo:** desconocido

**Coste:** desconocido

**Eficacia:** mala

**Durabilidad:** desconocido





## 10. Tirantes en combinación con posadero

**Acción:** colocar medida disuasoria

**Efecto:** dificultar contacto fase-tierra

**Colocación:** en postes con posadero "T", formando un triángulo con el posadero (o el pilar) y la cruceta

**Dimensión:** 70 cm aproximadamente

**Montaje:** corte suministro

**Material:** metal

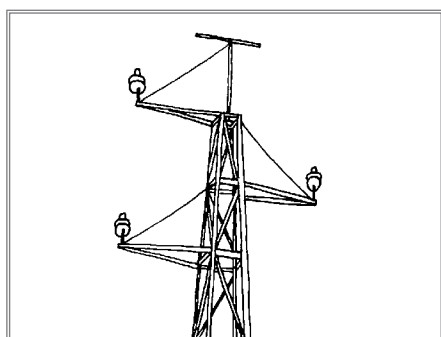
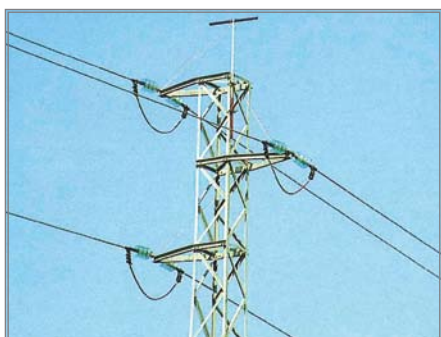
**Equipo:** dos personas

**Tiempo:** 10 min por poste

**Coste:** bajo

**Eficacia:** mala

**Durabilidad:** desconocida







## 11. Pletina inclinada

**Acción:** colocar barrera disuasoria de la posada y evitar nidificación sobre aisladores

**Efecto:** dificultar contacto fase-tierra

**Colocación:** en el extremo de la cruceta colocada en ángulo con la cruceta

**Dimensión:** 20 cm x 50 cm

**Montaje:** corte suministro

**Material:** plástico

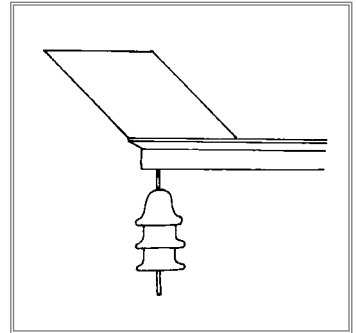
**Equipo:** dos personas

**Tiempo:** 5 min por poste

**Coste:** bajo

**Eficacia:** no suficientemente contrastada

**Durabilidad:** superado ensayo de seis semanas en cámara climática





## D. Combinación de aisladores y disuasores

### 1. Placa aislante sobre el aislador y disuasores triangulares

**Acción:** colocar parcial y colocación de medida disuasoria

**Efecto:** prevenir/dificultar contacto fase-tierra

**Colocación:** placa aislante por encima de los tres aisladores y triángulo en el extremo de la cruceta

**Dimensión:** 30 cm x 30 cm

**Montaje:** corte suministro

**Material:** plástico

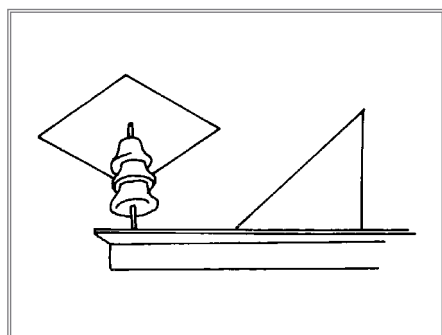
**Equipo:** dos personas

**Tiempo:** 10 min por poste

**Coste:** bajo

**Eficacia:** buena pero de difícil instalación

**Durabilidad:** desconocida





## 2. Manta aislante sobre puente y pletinas verticales en la cruceta

**Acción:** aislamiento con medida disuasoria

**Efecto:** prevenir/dificultar contacto fase-tierra

**Colocación:** puente (s) por encima aislados y pletinas en el extremo de la cruceta encima de los puentes inferiores

**Dimensión:** según puente, pletina 50 cm x 20 cm

**Montaje:** corte suministro

**Material:** aislamientos varios materiales y pletina de plástico

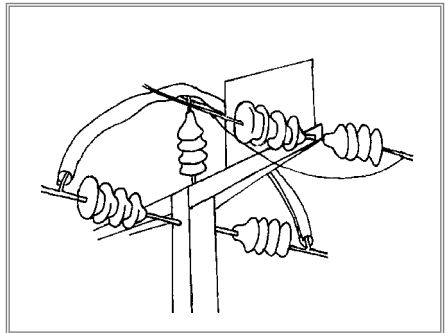
**Equipo:** dos personas

**Tiempo:** 8 min por poste

**Coste:** bajo

**Eficacia:** buena

**Durabilidad:** mayor de 3 años





## E. Cambio de diseño

### 1. Cambio del aislador rígido por suspendido

**Acción:** cambio de diseño

**Efecto:** dificultar contacto fase-tierra

**Colocación:** invertir el sentido de los aisladores

**Dimensión:** -

**Montaje:** corte suministro

**Material:** -

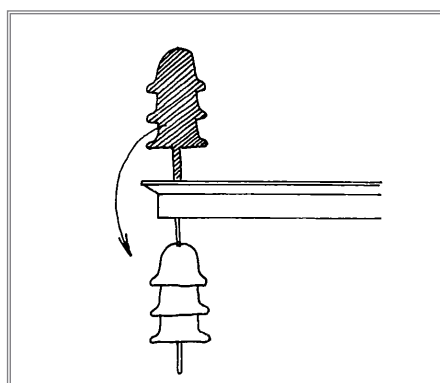
**Equipo:** desconocido

**Tiempo:** desconocido

**Coste:** muy alto

**Eficacia:** buena

**Durabilidad:** alta





## 2. Cambio de seccionador en cabecera por uno en vástago

**Acción:** cambio diseño

**Efecto:** dificultar contacto fase-tierra

**Colocación:** cambiar de seccionador en cabecera por uno en vástago

**Dimensión:** -

**Montaje:** corte suministro

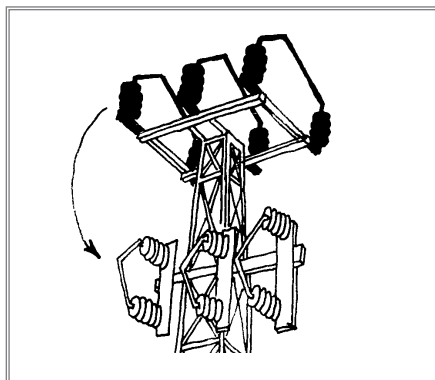
**Material:** -

**Equipo:** desconocido

**Tiempo:** desconocido

**Coste:** alto

**Eficacia:** buena





### 3. Alargamiento del aislador

**Acción:** cambio diseño

**Efecto:** dificultar contacto fase-tierra

**Colocación:** alargar el aislador

**Dimensión:** longitud del conjunto mayor de 50 cm

**Montaje:** corte suministro

**Material:** desconocido

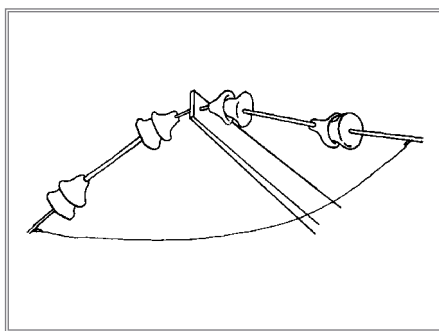
**Equipo:** desconocido

**Tiempo:** desconocido

**Coste:** alto

**Eficacia:** buena

**Durabilidad:** mayor de 20 años



# ANEXO 3

## Medidas correctoras anticolisión









## 1. Espiral blanca de polipropileno

**Soporte:** cable de tierra o conductor

**Colocación:** manual (carriculin)

**Montaje:** sin servicio

**Cadencia:** cada 5 metros (un sólo cable), cada 10 metros al tresbolillo

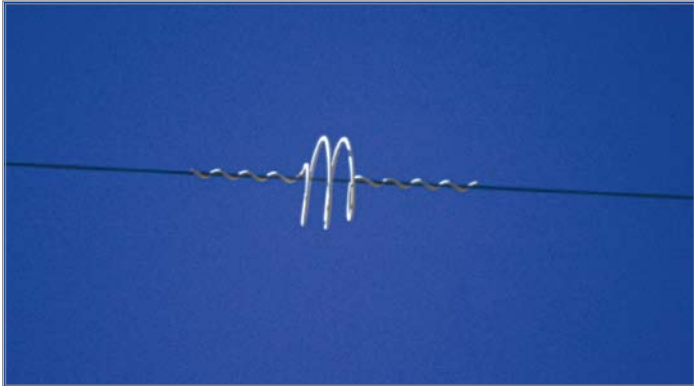
**Equipo:** 3 personas

**Tiempo:** 0,2km/hora

**Coste:** alto

**Eficacia:** buena

**Durabilidad:** mayor de tres años. Superado ensayo de 6 semanas en cámara climática.





## 2. Espiral naranja de polipropileno

**Soporte:** cable de tierra o conductor

**Colocación:** manual (carriculin)

**Montaje:** sin servicio

**Cadencia:** cada 5 metros (un sólo cable), cada 10 metros al tresbolillo

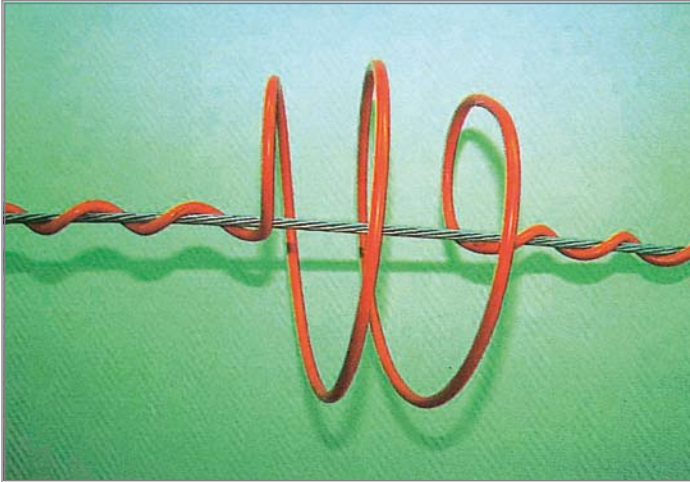
**Equipo:** 3 personas

**Tiempo:** 0,2km/hora

**Coste:** alto

**Eficacia:** buena

**Durabilidad:** mayor de tres años. Superado ensayo de 6 semanas en cámara climática.





### 3. Espiral amarilla de polipropileno

**Soporte:** cable cable de tierra o conductor

**Colocación:** manual (carriculin)

**Montaje:** sin servicio

**Cadencia:** cada 5 metros (un sólo cable), cada 10 metros al tresbolillo

**Equipo:** 3 personas

**Tiempo:** 0,2km/hora

**Coste:** alto

**Eficacia:** muy buena

**Durabilidad:** mayor de tres años. Superado ensayo de 6 semanas en cámara climática.





#### 4. Tiras en “X” de neopreno sujetas por mordaza de elastómetro con cinta luminiscente

**Soporte:** cable de tierra o conductor

**Colocación:** robot o manualmente

**Montaje:** sin servicio

**Cadencia:** cada 10 metros

**Equipo:** 4 personas

**Tiempo:** 0,4km/hora

**Coste:** alto

**Eficacia:** buena

**Durabilidad:** mayor de tres años. Superado ensayo de 6 semanas en cámara climática.





## 5. Abrazaderas negras de plástico colgantes I

**Soporte:** cable de tierra o conductor

**Colocación:** Manual

**Montaje:** en tensión (en cable de tierra)

**Cadencia:** cada 8 metros

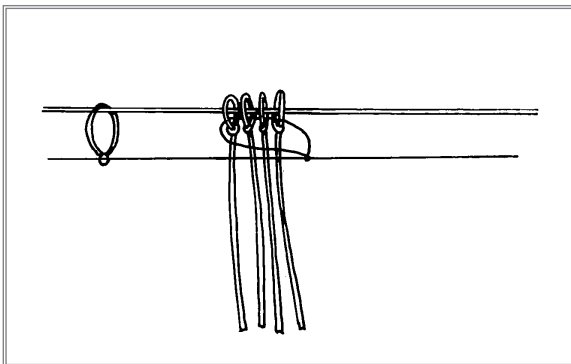
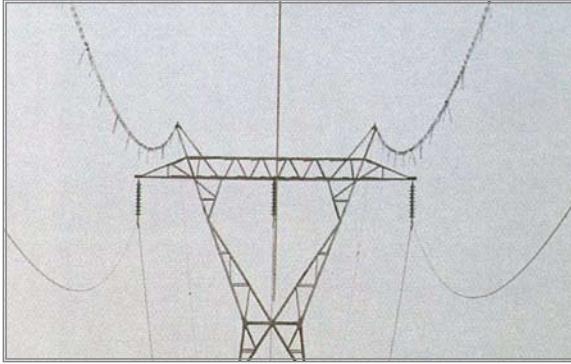
**Equipo:** 3 personas

**Tiempo:** 0,4km/hora

**Coste:** bajo

**Eficacia:** no suficientemente contrastada

**Durabilidad:** mayor de tres años. Superado ensayo de 6 semanas en cámara climática.





## 6. Abrazaderas negras de plástico colgantes II

**Soporte:** conductor

**Colocación:** Manual (grúa)

**Montaje:** sin servicio

**Cadencia:** cada 15 metros, tres abrazaderas

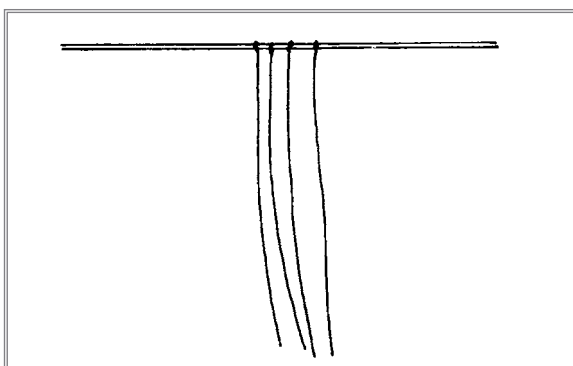
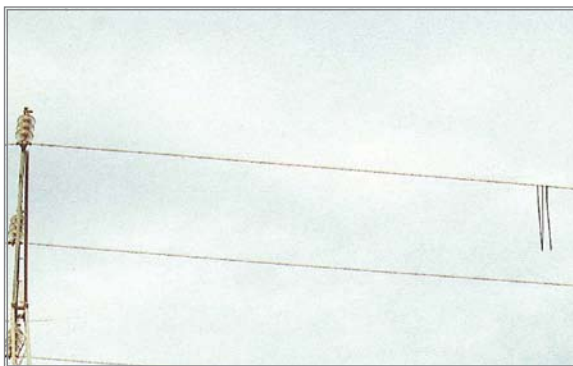
**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** 0,4km/hora

**Coste:** alto

**Eficacia:** mala

**Durabilidad:** mayor de tres años. Superado ensayo de 6 semanas en cámara climática.





## 7. Silueta de aves fluorescentes de plástico

**Soporte:** cable de tierra

**Colocación:** Manual (helicóptero)

**Montaje:** sin servicio

**Cadencia:** de 5 a 10 metros

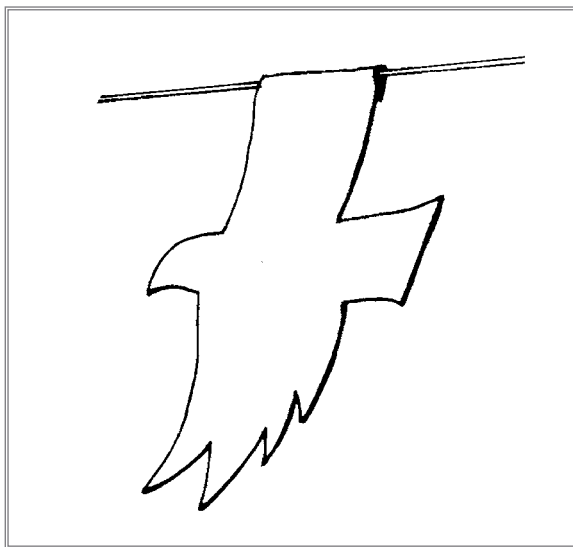
**Equipo:** desconocido

**Tiempo:** desconocido

**Coste:** muy alto

**Eficacia:** desconocida

**Durabilidad:** desconocida





## 8. Bolas amarillas con banda negra vertical

**Soporte:** cable de tierra

**Colocación:** desconocida

**Montaje:** sin servicio

**Cadencia:** cada 75-100 metros

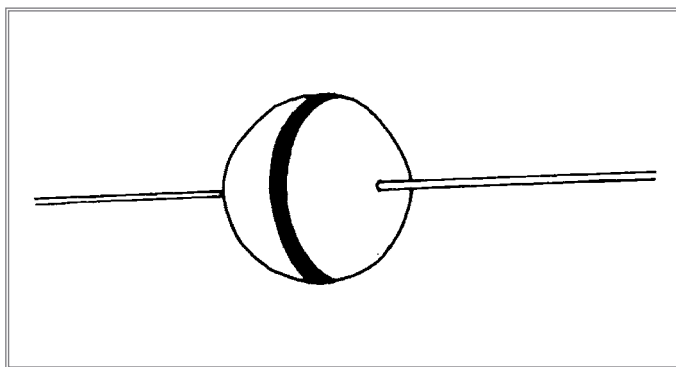
**Equipo:** desconocido

**Tiempo:** desconocido

**Coste:** alto

**Eficacia:** buena

**Durabilidad:** desconocida







## 9. Aspa de tres lados con pegatinas reflectantes

**Soporte:** cable de tierra o conductor

**Colocación:** manual

**Montaje:** sin servicio

**Cadencia:** cada 5 metros (un sólo cable), cada 10 metros al tresbolillo

**Equipo:** 2 personas

**Tiempo:** desconocido

**Coste:** bajo

**Eficacia:** muy buena

**Durabilidad:** mayor a 3 años





Este libro ha sido redactado por Miguel Ferrer, Profesor de Investigación del Consejo Superior de Investigación Científica (CSIC) que trabaja en la Estación Biológica de Doñana, de la que fue director desde 1996 hasta 2000. Es Director *at Large* de la *Raptor Research Foundation* desde 1998 y presidente de la Fundación MIGRES desde 2003. En 2007 entra a formar parte del grupo de expertos de “*Biodiversity and Climatic Change*” del Consejo de Europa. En 2011 es nombrado profesor adjunto de la *Boise State University*. Actualmente es el Coordinador Institucional del CSIC en Andalucía.

Ha publicado más de 130 artículos en revistas científicas incluidas en el SCI, varios libros y ha dado más de 80 conferencias en distintas universidades. Su investigación presenta tres líneas principales: dinámica de pequeñas poblaciones y conservación de especies en peligro de extinción, particularmente del águila imperial ibérica. Una segunda línea sobre el estudio aplicado de los impactos de diferentes infraestructuras humanas, como parques eólicos, las líneas eléctricas, carreteras, vías férreas, sobre el medio natural y las medidas para mitigar sus potenciales impactos. Y una tercera línea sobre los efectos del cambio global en la distribución de las especies y las migraciones de las aves.

En este libro quedan plasmadas dos de sus grandes pasiones, el estudio de la dinámica de la población de águila imperial ibérica en Doñana y el estudio y corrección del impacto de las líneas eléctricas, obteniendo el mejor resultado posible, la supervivencia de la especie y el crecimiento de la población.

Este libro ha sido posible gracias al empeño de la Fundación Migres, entidad privada sin ánimo de lucro creada en 2003 para promover la investigación sobre el fenómeno de la migración de las aves y fomentar actividades orientadas al desarrollo sostenible, desde el convencimiento de que en este modelo de actuaciones residen las mejores herramientas para la conservación de la biodiversidad.

La Fundación Migres se ha consolidado, además, como una institución esencial para conciliar crecimiento sostenible y conservación de la biodiversidad, aportando soluciones a desafíos ambientales que, adecuadamente abordados, se convierten en oportunidades de desarrollo económico y social sostenible.

Y también gracias al apoyo de Endesa que es la mayor empresa eléctrica española. En Endesa, miran al futuro y buscan soluciones inteligentes, para desarrollar propuestas realistas ante los retos energéticos del presente y el futuro. Su corporación está además fuertemente comprometida con la conservación del medio ambiente, pues creen firmemente que el suministro del servicio debe y puede ser compatible con la preservación del entorno. De este modo, han sido pioneros tanto en el estudio de los impactos que las líneas eléctricas que atraviesan nuestro paisaje pudieran causar, como en la búsqueda de soluciones a estos impactos.

# Aves y tendidos eléctricos

## Del conflicto a la solución

*Miguel Ferrer*



Este libro, contado en primera persona, demuestra que es posible el entendimiento entre diferentes colectivos (científicos, empresas eléctricas, administraciones, técnicos, propietarios de fincas, ecologistas) con objeto de solucionar los problemas que causan los tendidos eléctricos en la avifauna, especialmente sobre el águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*).

Miguel Ferrer, Profesor de Investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, es el mayor experto mundial en el estudio de esta especie y de los problemas que la han convertido en el águila más amenazada de Europa y una de las más escasas del mundo. Fue precisamente el descubrimiento de la elevada mortalidad de esta especie por causa de los tendidos eléctricos, lo

que le llevó a desarrollar múltiples trabajos de investigación para mitigar el impacto. La aplicación de estos resultados ha logrado aumentar en más del doble la población de águila imperial ibérica en Andalucía; todo un hito en la biología aplicada.

La gestión integral de este problema real para las aves y para las compañías eléctricas en todo el mundo, ha supuesto una nueva forma de actuación. Los tendidos eléctricos están aquí para quedarse, y se seguirán planteando nuevos problemas pero también ofreciendo nuevas oportunidades. El conocimiento en profundidad del problema y el compromiso de todos los actores implicados son esenciales para la búsqueda y obtención de soluciones viables.

ISBN-13: 978-84-615-8209-9



9 788461 582099

