



## MÁSTER UNIVERSITARIO EN BIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN

# Análisis de la mortalidad de aves en tendidos eléctricos en un ambiente insular

*Mortality analysis of birds in power lines in an island environment*

Trabajo de fin de máster

Rafael Hernández Martín

Curso académico 2020-2021

Septiembre de 2021, Madrid.

Universidad Complutense de Madrid

Facultad de Ciencias Biológicas

Máster universitario en Biología de la Conservación

ANÁLISIS DE LA MORTALIDAD DE AVES  
EN TENDIDOS ELÉCTRICOS EN UN  
AMBIENTE INSULAR

*Mortality analysis of birds in power lines in an  
island environment*

Septiembre de 2021, Madrid

Autor: Rafael Hernández Martín

Tutor/es:

Álvaro Ramírez García

Juan José Iglesias Lebrija



## **ANEXO I: DECLARACIÓN DE NO PLAGIO**

D./Dña. Rafael Hernández Martín con NIF 71703446A, estudiante de Máster en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Complutense de Madrid en el curso 2020-2021, como autor/a del trabajo de fin de máster titulado “Análisis de la mortalidad de aves en tendidos eléctricos en un ambiente insular” y presentado para la obtención del título correspondiente, cuyos tutores son: Álvaro Ramírez García y Juan José Iglesias Lebrija

---

### **DECLARO QUE:**

El trabajo de fin de máster que presento está elaborado por mí y es original. No copio, ni utilizo ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones de cualquier obra, artículo, memoria, o documento (en versión impresa o electrónica), sin mencionar de forma clara y estricta su origen, tanto en el cuerpo del texto como en la bibliografía. Así mismo declaro que los datos son veraces y que no he hecho uso de información no autorizada de cualquier fuente escrita de otra persona o de cualquier otra fuente.

De igual manera, soy plenamente consciente de que el hecho de no respetar estos extremos es objeto de sanciones universitarias y/o de otro orden.

En Madrid, a 19 de septiembre de 2021

Fdo.:

**Rafael Hernández Martín**

## INDICE

Resumen .....	1
Abstract: .....	1
Palabras clave .....	2
Keywords:.....	2
Introducción.....	3
Material y métodos .....	6
Área de estudio: .....	6
Datos de electrocuciones: .....	8
Análisis de datos .....	8
Resultados.....	12
Comunidad de aves afectadas por la electrocución .....	12
Efecto de la tipología del apoyo sobre el riesgo de electrocución.....	13
Efecto de la envergadura de la especie sobre el riesgo de electrocución.....	14
Efecto de la presencia del apoyo en zona ZP.....	15
Efecto de la presencia del apoyo en zona ZEPA .....	16
Efecto del uso del suelo sobre el riesgo de electrocución.....	17
Discusión .....	17
Comunidad de aves afectadas por la electrocución .....	17
Efecto de la tipología del apoyo sobre el riesgo de electrocución.....	20
Efecto de la envergadura de la especie sobre el riesgo de electrocución.....	21
Efecto de la presencia del apoyo en zona ZP.....	22
Efecto de la presencia del apoyo en zona ZEPA .....	22
Efecto del uso del suelo sobre el riesgo de electrocución.....	23
Conclusiones.....	23
Agradecimientos .....	24
Bibliografía.....	25

## **Resumen**

La electrocución es uno de los principales factores de amenaza para muchas especies de aves a nivel mundial, siendo especialmente grave en especies cuyas poblaciones están en declive. España se encuentra en la vanguardia legislativa de este problema con normativa que obliga a adecuar los tendidos eléctricos para evitar estos incidentes. El objetivo de este proyecto es estudiar los factores que favorecen estos eventos en un ambiente insular (la tipología del tendido, la envergadura de la especie, el hábitat circundante al apoyo y la presencia del mismo en zonas protegidas, ZEPA y ZP) para así poder evitarlos. Además, se estudia el posible efecto de la insularidad sobre las especies y ordenes afectados, para lo que se comparan los resultados con los obtenidos en un ambiente continental como la península Ibérica. Se ha trabajado con una base de datos de revisión de líneas eléctricas en las islas de Mallorca y Menorca (Islas Baleares), donde se registraron las electrocuciones acontecidas en las mismas. Se revisó un total de 4.392 apoyos, 150 de los cuales presentaron algún episodio de electrocución que afectó a 196 individuos de hasta 11 especies diferentes. Encontramos diferencias notables en el número de especies afectadas por la electrocución y el porcentaje que representan estas especies cuando comparamos con estudios de zonas continentales. La tipología del apoyo y su presencia en zona ZEPA mostraron un efecto significativo sobre la mortalidad, mientras que la envergadura de la especie y el hábitat circundante al apoyo, no. Se discuten los resultados obtenidos y la necesidad de tener en cuenta otras variables, no analizadas en este estudio, como la frecuencia del uso de apoyos y el comportamiento de la especie a la hora de cazar, alimentarse y descansar, dado que se ha visto que también influyen en los episodios de electrocución. Un correcto diseño de la línea eléctrica en caso de no poder realizar el soterramiento de la misma, y una correcta vigilancia, tanto de las medidas anti electrocución como de la posible presencia de puntos negros para distintas especies, se posicionan como medidas indispensables para reducir el número de electrocuciones

## **Abstract:**

Electrocution is one of the main threat factors for many bird species worldwide and is particularly serious for species whose populations are in decline. Spain is at the head of legislation on this problem, with regulations that require power lines to be adapted to prevent these incidents. The aim of this project is to study the factors that favour these

events in an island environment in order to prevent them. To do so, we first propose to identify the species and orders affected for subsequent comparison with data obtained in a continental environment such as the Iberian Peninsula. Moreover, we assess the effects of different variables such as the type of power line installation, the size of the bird species, the surrounding habitat as well as the environment belonging to Special Protection Areas (ZEPA & ZP) for Environmental Protection or Conservation of Birds. We have used a database which recollects recorded electrocutions of birds in power line installations along the islands of Mallorca and Menorca (Balearic Islands). A total of 4.397 power line pylons were checked, 150 of which had an episode of electrocution, affecting 196 individuals of up to 11 different bird species. We found notable differences in the number of species affected by electrocution, as well as proportional percentage that these species represent in both environments, insular and continental. As a major result, mortality was significantly affected by the type of pylon and its presence in a ZEPA, whereas the size of the bird species and the habitat surrounding the pylon did not. This work discusses about the obtained results as well as the need to consider further variables, not analysed in this study. Some of these factors that might influence in electrocution episodes may be the frequency of the use of power pylons in addition to the intrinsic behaviour of each bird species when hunting, feeding and/or resting.

In conclusion, in order to reduce birds' electrocutions is essential to plan alternative power line designs, such as underground installations, especially at black spots for different species. In case such alternatives are not possible, it will be crucial to implement monitoring protocols and to review anti-electrocution prevention procedures to reduce electrocutions of birds.

### **Palabras clave**

Aves, Electrocutación, Islas Baleares, Rapaces, Tendidos eléctricos

### **Keywords:**

Balearic Islands, Birds, Electrocution, Power line pylon, Raptors

## Introducción

Desde mitad del siglo XX el aumento tanto de la población humana como de la demanda energética por individuo ha supuesto una drástica transformación del medio. La industrialización, urbanización y construcción de grandes infraestructuras generó una necesidad de producción y abastecimiento de energía eléctrica (Vitousek *et al.*, 1997; Pérez-García, 2014), que debía ser transportada desde los lugares de producción a los de uso. En la mayoría de los casos, dicho transporte se consigue mediante redes que, de forma resumida, consisten en una serie de apoyos que sostienen unos conductores en forma de cable, a través de los cuales circula la energía (Pérez-García, 2014). La primera gran línea de transporte de energía eléctrica en España se construyó en 1909. Desde entonces, la situación ha cambiado de forma drástica hasta el momento actual (Pérez-García *et al.*, 2015), llegando a alcanzar 870.252 km de líneas eléctricas aéreas (Pérez-García, 2014).

Esta red de transporte genera impactos ambientales graves, destacando entre ellos las interacciones negativas con la fauna (Bevanger, 1994; Hernández-Lambráño *et al.*, 2018). Es cierto que las líneas eléctricas pueden ser beneficiosas en determinadas ocasiones para algunas especies, como las aves rapaces, debido a su utilización de los apoyos o cables como oteaderos de caza o punto de descanso (Bevanger, 1994; Moleón, 2007), e incluso para la nidificación, como es el caso de la cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*) en la península Ibérica (Infante & Peris, 2003). Sin embargo, los accidentes por colisión o electrocución con tendidos eléctricos causan la muerte de un importante número de aves cada año (Ferrer *et al.* 1991; Ferrer & Negro, 1992; Lehman *et al.*, 2007; Pérez-García *et al.*, 2016). La electrocución de un ave ocurre cuando esta hace contacto simultáneo entre dos conductores o un conductor y el apoyo metálico que deriva a tierra (Ferrer & Negro 1992; Bevanger, 1994), pudiéndose dar también la circunstancia de que, en situaciones de elevada humedad, se produzca un arco voltaico que electrocuta al individuo de igual manera, sin necesidad de contacto con los distintos componentes (Pérez-García, 2014). Dicha electrocución se ha identificado como una de las principales amenazas para 24 especies de aves en nuestro país (Madroño *et al.*, 2004). Además de la muerte directa, estas redes presentan una serie de repercusiones negativas respecto a aspectos ecológicos de las especies, como son los efectos que tiene dicha mortalidad sobre la dinámica de sus poblaciones (Pérez-García, 2011).

La realización de estudios donde se comprueban los efectos negativos de las líneas eléctricas sobre la avifauna comenzó en Estados Unidos en los años 60 (Turcek, 1960; Pérez-García, 2014). Actualmente, España se encuentra entre los países del mundo con más estudios científicos desarrollados sobre este tema (Ferrer, 2012; Pérez-García, 2014), pudiéndose encontrar casos de electrocución registrados y estudiados a finales de los años 70 en el Parque Nacional de Doñana (Soria & Guil, 2017) y un gran número de estudios de caso para la evaluación y desarrollo de métodos que permiten un conocimiento preciso de las tasas de electrocución de aves (Guil *et al.*, 2015). Además, es interesante destacar que el interés por solucionar la problemática de las electrocuciones de aves en los tendidos no es simplemente conservacionista, ya que estos sucesos pueden causar problemas de suministro de energía y cortes eléctricos, por lo que también se trata de un problema económico para la empresa suministradora de energía (Bevanger, 1994; Ferrer, 2012).

Desde 1990 se han detectado un total de 12.770 electrocuciones en España, si bien esta cantidad puede ser mucho mayor, ya que se estima que sólo se detectan un 15% de las electrocuciones totales (Grupo de Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat [GREFA], 2020). Además, hay estudios que indican que el 30% de los cadáveres desaparecen en los dos primeros días después de la muerte (Ponce *et al.*, 2010) por lo que las cifras seguramente estén bastante infraestimadas. En el caso de las Islas Baleares, zona marco del proyecto, las estimaciones indican que mueren unas 230 aves al año por electrocución (Viada, 2017).

No todas las aves tienen la misma probabilidad de electrocución. Las especies más sensibles a la electrocución son las que presentan envergaduras medianas o grandes (Bevanger, 1998; Viada, 2017), por lo que los grupos de aves más afectados por la problemática de la electrocución son Ciconiiformes, Accipitriformes, Falconiformes, Strigiformes y Paseriformes (Bevanger, 1998; Hernández-Lambraño *et al.*, 2018). Además, las electrocuciones afectan especialmente a aves juveniles, por lo que pueden interferir en la dinámica de poblaciones de las especies (Bayle, 1999), una cuestión clave en poblaciones de especies raras (Bevanger, 1998; Prinsen *et al.*, 2011; Mojica *et al.*, 2018) como el águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*) (Ferrer *et al.*, 1991; González *et al.*, 2007) y el águila de bonelli (*Aquila fasciata*) (Carrete *et al.*, 2002; Ontiveros *et al.*, 2004). Sirva como ejemplo en esta última especie que la electrocución ha sido responsable de un 42% de las muertes de las 128 águilas de bonelli liberadas en el marco

del proyecto LIFE Bonelli entre 2010 y 2016 (Iglesias *et al.*, 2018), dato que nos pone en perspectiva del gran problema que suponen para nuestra avifauna los tendidos eléctricos.

Es interesante destacar que el grado de peligrosidad respecto a electrocuciones de un poste concreto está determinado por la interacción de varios factores, como las características anatómicas y de comportamiento de la especie, el hábito de colocarse dentro del diseño de la cruceta (como en el caso del cuervo (*Corvus corax*) y el águila de bonelli) y el de comer sobre el apoyo (Viada, 2017). Además, existen otro tipo de factores que afectan al número de electrocuciones, tales como ciertas características del área respecto al ambiente, la masa forestal circundante, la topografía, el diseño técnico y los materiales de construcción del apoyo, y factores externos como las condiciones meteorológicas (Ferrer, 1991; Bevanger, 1994; Pérez-García, 2014).

En las últimas décadas la sociedad ha tomado conciencia de la problemática de las aves con los tendidos eléctricos, tomándose medidas anti electrocución en las líneas, especialmente las más peligrosas, para intentar minimizar o eliminar los efectos de las mismas. Las distintas medidas adoptadas han ayudado a reducir la mortalidad de aves donde se han aplicado (Moleón *et al.*, 2007), si bien estas no suelen ser efectivas a largo plazo. Por ejemplo, al cabo de 10 años de colocar los aisladores en un apoyo, se degradan pudiendo incrementar el riesgo de electrocución (Guil *et al.*, 2011). Es por ello por lo que la forma más eficaz de evitar la muerte de aves por electrocución y colisión es el soterramiento de la línea, si bien esta medida presenta tanto una logística como un coste muy elevado, y en España no se ha utilizado frecuentemente (Ferrer, 2012).

Un paso importante para acercarse a la solución de este problema fue la publicación, el 13 de septiembre del año 2008, del Real Decreto 1432/2008 por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión (R.D. 1432/2008, de 29 de agosto), el cual indica la obligatoriedad de corregir las líneas eléctricas que no cumplen las características técnicas establecidas por el propio Real Decreto dentro de unas áreas determinadas, a designar por las Comunidades Autónomas (Tragsatec, 2014).

Respecto a las Islas Baleares, zona de estudio del presente trabajo, desde 2001 ya no se instalan tendidos de distribución aéreos en suelo rústico, estableciéndose en el Plan Director Sectorial Energético de estas islas que los nuevos tendidos de media tensión deben ir enterrados, o si ello no es posible, con cable trenzado (Decreto 96/2005, de 27 de septiembre). Se trata de una región donde no abundan los datos sobre electrocuciones

(Viada, 2017) y en la que, dado su carácter insular, resulta interesante profundizar en el análisis de este problema.

El objetivo de este trabajo es analizar la situación de las electrocuciones de aves en los tendidos eléctricos de las Islas Baleares. En primer lugar, se estudia la comunidad de aves y las posibles diferencias con otras regiones que puedan ser debidas al carácter insular de Baleares. En segundo lugar, se estudian los distintos factores que pueden afectar al número de electrocuciones. Entre ellos se incluyen rasgos de la biología de las aves (envergadura alar) ya que se ha observado que las electrocuciones afectan con mayor frecuencia a las aves de mayor tamaño (Bevanguer, 1998), el diseño del apoyo, que también se ha visto que tiene un efecto importante sobre el riesgo de electrocución dependiendo de la tipología del mismo, ya que algunos presentan una mayor exposición de los cables o elementos metálicos (Olendorff, 1981; Ferrer *et al.*, 1991; Prinsen *et al.*, 2011). Esperamos que las tipologías de apoyo que cumplen estas características, como las que presentan los cables por encima de la zona de posada y las derivaciones, provoquen electrocuciones con mayor frecuencia. Además, se estudia el efecto de la ubicación del apoyo según sea en zona protegida o no, Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) y Zonas de Protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión (ZP), ya que en estas zonas se ha priorizado la adecuación del tendido). También se estudia el posible efecto que pueda tener el uso de suelo en el que se sitúa el apoyo sobre las electrocuciones, debido a la distinta extensión de los mismos y a los cambios de densidad de posaderos naturales (Ferrer, 1991; Bevanger, 1994). Con todo ello se busca sacar conclusiones de tipo aplicado que puedan ayudar en la gestión del problema.

## **Material y métodos**

### **Área de estudio:**

Se estudian una serie de líneas eléctricas situadas en las islas de Mallorca y Menorca, en la comunidad autónoma de Islas Baleares, situada en el mar Mediterráneo. Estas islas, con una extensión de 3.640 y 696 km<sup>2</sup> respectivamente, presentan gran variedad de ambientes de alto valor ecológico como la Sierra de la Tramuntana en Mallorca (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico [MITECO], 2019). Por su parte, Menorca destaca por sus suaves ondulaciones del terreno en su región norte y los

grandes barrancos de la región sur (De Pablo, 2017). En ambas islas podemos encontrar distintos tipos de formaciones boscosas y de matorral, ambientes costeros y zonas antropizadas como áreas de cultivo. Presentan un clima de tipo mediterráneo marítimo, con temperaturas invernales suaves y máximas estivales moderadas, fluctuando las precipitaciones anuales en ambas islas entre los 450 y los 600 mm, si bien en zonas de mayor altitud como la Sierra de la Tramuntana llegan hasta a los 1.500 mm (De Pablo, 2017; MITECO, 2019).

Se trata de una zona de gran interés para la avifauna por la presencia de varias especies con diversos grados de amenaza, como milano real (*Milvus milvus*) y la pardela balear (*Puffinus mauretanicus*), clasificadas como “En peligro de extinción” y el alimoche (*Neophron percnopterus*), el águila pescadora (*Pandion haliaetus*) y el águila de Bonelli clasificadas como “Vulnerables” (RD/139/2011 de 4 de febrero) entre otra gran variedad de especies, como el aguilucho lagunero occidental (*Circus aeruginosus*), la garcilla bueyera (*Bubulcus ibis*) y el cuervo (*Corvus corax*) (GOB, 2010). Además, el carácter insular de la zona de estudio confiere a su avifauna unas características que podrían afectar al patrón de electrocuciones de aves.

Un total de 66.804,5 hectáreas se encuentran incluidas dentro de las 18 ZEPAS de las islas, entre las que destaca “Muntanyes d’Artá” por su extensión (14.811,45 ha). Respecto a los apoyos muestreados en las islas, encontramos 484 de ellos en Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA). Es también destacable la figura de las Zonas de Protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión (ZP), creadas a partir de la publicación del Real Decreto 1.432/2008, de 29 de agosto. Un total de 4.068 apoyos, es decir, un 92,62% de los apoyos totales que se han incluido en este estudio, se encuentran dentro de zonas ZP, quedando fuera de ellas 385 apoyos, un 8,76%.

También encontramos otras figuras relevantes a nivel ecológico como Espacios Naturales protegidos (Parque Natural, Monumento Natural, Paraje Natural y Reserva Natural Especial), con un total de 74.345 hectáreas y 719 apoyos dentro de ellas, un 16,35%, Habitats de interés comunitario (HIC) con un total de 24.900 hectáreas y 552 apoyos dentro de ellas, un 12,55%, y Áreas Importantes para las Aves y la Biodiversidad (IBA), con un total de 114.766 hectáreas y 1.198 apoyos dentro de ellas, un 27,25% de los apoyos totales.

### **Datos de electrocuciones:**

Se ha trabajado con una base de datos de electrocuciones y apoyos eléctricos en las islas de Mallorca y Menorca (Islas Baleares) proporcionada por GREFA y Govern de Illes Balears. En el marco del proyecto AQUILA a-LIFE (LIFE16 NAT/ES/000235), durante 2018, 2019 y 2020 se lleva a cabo una revisión sistemática de los tendidos eléctricos por parte de agentes de medio ambiente, personal de la Fundación Natura Parc e Ibanat, revisándose un total de 4.392 apoyos.

Para la toma de datos se utiliza un formulario creado para el proyecto AQUILA A-Life por GREFA de la aplicación CartoDroid. Desde aquí se georreferencia el apoyo deseado, lo cual permite registrar el apoyo en el mapa y rellenar una serie de datos: Fecha, especie, causa de la muerte, si se encuentra vivo el individuo, el estado y la posición del ave, municipio y comunidad autónoma donde se encuentra, código del apoyo, identificativo del apoyo, coordenadas, propietario del apoyo (pueden ser propietarios particulares o pertenecientes a una compañía eléctrica) el tipo de apoyo y el tipo de línea, si presenta medidas anti electrocución, si estas están defectuosas y el número de ejemplares encontrados. En el presente trabajo se utilizaron las siguientes variables: Fecha, especie, municipio, coordenadas del apoyo y tanto tipo de apoyo como de línea.

### **Análisis de datos**

Para el tratamiento y análisis de los datos se utiliza el programa R commander (Fox & Bouchet-Valat, 2019). Todos los datos utilizados provienen de la base de datos facilitada por GREFA y el Govern de les Illes Balears, la cual se ha cribado y adaptado para poder realizar los análisis pertinentes.

En primer lugar, se ha realizado la clasificación por especies y el cálculo de individuos electrocutados de cada una de ellas, a partir de los cuales se obtienen los porcentajes que estos representan sobre el total.

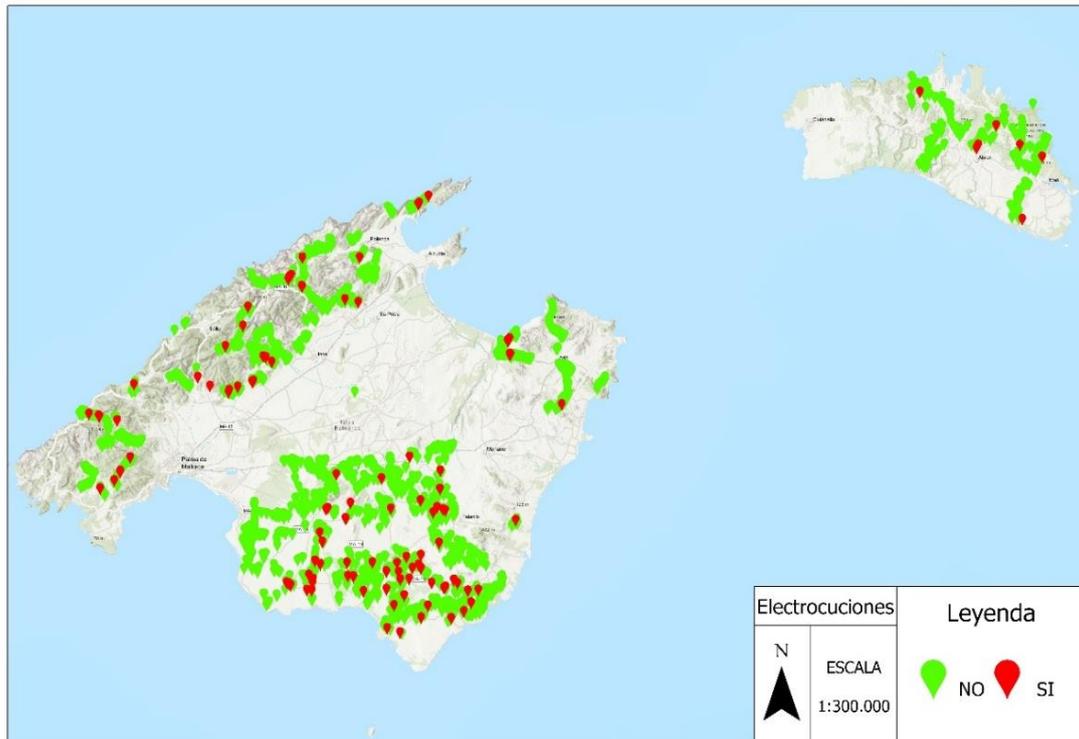


Figura 1.- Mapa de los apoyos muestreados, distinguiendo los que presentan episodios de electrocución, en rojo, frente a los que no, en verde. Fuente: Elaboración propia con QGIS.

A continuación, se realiza un análisis de chi-cuadrado para estudiar si existen diferencias significativas entre los distintos tipos de apoyos respecto al riesgo de electrocución. Se elabora una tabla de contingencia, donde, debido a la gran variedad de tipos de apoyo, estos se reducen a cuatro categorías distintas (cables por encima de la zona de posada, cables por debajo de la zona de posada, derivaciones y transformadores) con el objetivo de facilitar los posteriores análisis (Tabla 1, Figura 2). Para ello se lleva a cabo un cribado de la base de datos donde se categorizan todos los tipos de apoyos.

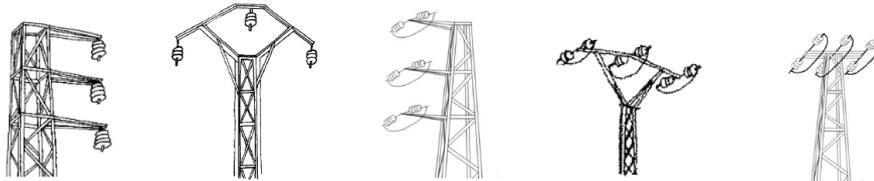
- Categoría A: Los cables pasan por encima de la zona de posada.
- Categoría B: Los cables pasan por debajo de la zona de posada.
- Categoría D: Apoyos que presentan derivaciones y seccionadores de la línea.
- Categoría T: Apoyos que presentan transformadores.

Es necesario comentar que el número total de apoyos entre análisis es discordante en algunos de ellos debido a que no toda la información fue recogida en todos los apoyos por el personal de campo que realizó los transectos.

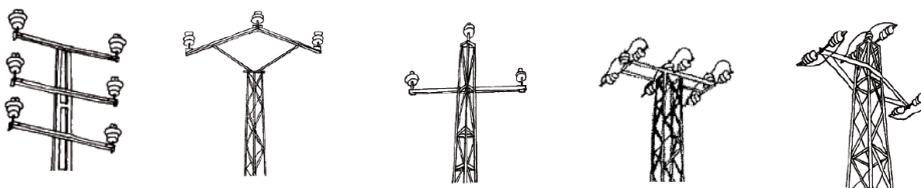
Tabla 1.- Categorización de las distintas tipologías de apoyos presentes en tendidos eléctricos.

Categoría actual	Código categoría actual	Categoría en base de datos
Cables por encima de la zona de posada	A	P4; P5; P6; P7; P11 <sub>AMPE</sub> ; P12 <sub>AMPE</sub> ; B1; B2; B3; B4; D1; D2; D3
Cables por debajo de la zona de posada	B	P1; P2; P3; P8 <sub>AMPD</sub> ; P9 <sub>AMPD</sub> ; P10 <sub>AMPD</sub> ; P11 <sub>AMPD</sub> ; P12 <sub>AMPD</sub> ; A1; A2; A3; A4; C1; C2; C3; C4
Derivaciones y seccionadores	D	P13/SC; P14/SC; P15/SC; P17/SC; P17/SC; P18/DER+SC; E1; E2; H
Transformadores	T	Transformador; Fa; Fb; Fc; Fd

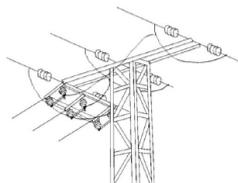
CABLES SUSPENDIDOS POR DEBAJO DE LA ZONA DE POSADA



CABLES POR ENCIMA DE LA ZONA DE POSADA



DERIVACIONES



TRANSFORMADOR

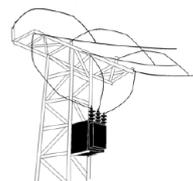


Figura 2.- Clasificación de las distintas tipologías de tendidos eléctricos. Fuente: GREFA

Se procede a realizar un análisis de regresión simple con el que se analiza el efecto de la envergadura (en cm) de las distintas especies sobre el riesgo de electrocución. Para ello, se utiliza como variable independiente la envergadura media de la especie, extraída de Hernández-Lambrano *et al.*, 2018 y Sanz-Zuasti & Velasco, 2005, frente al número de individuos muertos de cada especie como variable dependiente.

Se aplica un test chi cuadrado para analizar el efecto de la ubicación del apoyo en zona ZEPA y en ZP. Mediante una tabla de contingencia se comparan frecuencias de electrocución en apoyos que se encuentran en zona ZEPA frente a otros que se encuentran fuera de zonas con esta figura de protección, de igual manera que se realiza con apoyos que se encuentran en zonas ZP.

Tabla 2.- Clasificación en función del uso de suelo a partir de la clasificación inicial de CORINE.

<b>UNIDAD CORINE</b>	
<b>URBANO</b>	1.1.1 Tejido urbano continuo
	1.1.2 Tejido urbano discontinuo
	1.2.1. Zonas industriales o comerciales
	1.3.1. Zonas de extracción minera
	1.3.2. Escombreras y vertederos
	1.4.2. Instalaciones deportivas y recreativas
<b>CULTIVO</b>	2.1.1. Tierras de labor en seco
	2.1.2. Terrenos regados permanentemente
	2.2.1. Viñedos
	2.2.2. Frutales
	2.2.3. Olivares
	2.3.1. Praderas
	2.4.1. Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes
	2.4.2. Mosaico de cultivos
2.4.3. Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural	
<b>NATURAL</b>	3.1.1. Bosques de frondosas
	3.1.2. Bosques de coníferas
	3.1.3. Bosque mixto
	3.2.1. Pastizales naturales
	3.2.3. Vegetación esclerófila
	3.2.4 Matorral boscoso de transición
	3.3.3 Espacios con vegetación escasa
	5.1.2 Láminas de agua

Por último, se realiza un análisis chi cuadrado mediante una tabla de contingencia para poder analizar si existen diferencias en cuanto a la presencia o no de electrocuciones en un apoyo en base al tipo de ambiente en que se encuentra. Para ello, se utilizaron las categorías de usos del suelo del programa Corine LAND Cover (Corine Land Cover, 2012). Debido al gran número de categorías que recoge esta clasificación, se realiza una agrupación en tres grupos distintos (Tabla 2).

## **Resultados**

### **Comunidad de aves afectadas por la electrocución**

Se encuentran 196 aves muertas de 11 especies distintas a causa de electrocución en 150 apoyos de los 4.392 totales, es decir, en un 3,4% de ellos. La distribución geográfica de los apoyos con electrocuciones incluye todas las zonas muestreadas, ocupando buena parte de ambas islas (Fig.1). La especie más afectada es el cuervo (*Corvus corax*) con 67 electrocuciones, que representan un 34,2% del total, seguido de las gaviotas (*Larus sp*), con 31 electrocuciones que representan un 15,82%, y el águila calzada (*Hieraaetus pennatus*), con 22 ejemplares que representan un 11,22% de las electrocuciones totales. Es destacable que la cifra de aves que no han podido ser identificadas a nivel de especie asciende a 35 (17,8%). En 32 casos sólo se pudo identificar el ave electrocutada a nivel de género o familia (Tabla 3).

Respecto a los órdenes más afectados por la electrocución, el que más sufre esta amenaza son los paseriformes con 67 individuos (34,18% de las electrocuciones), todos ellos cuervos. A continuación, le siguen los Charadriiformes y los Accipitriformes, ambos con 31 individuos que representan un 15,82% del total cada uno, y, por último, Columbiformes, Falconiformes, Strigiformes y Ciconiformes. (8,67%, 4,59%, 2,04%, 1,02 % respectivamente) (Tabla 4).

Tabla 3.- Especies afectadas por la electrocución, número de individuos y % respecto al total de afectados.

<b>Especie</b>	<b>Individuos</b>	<b>% respecto al total</b>
<b>Paloma (<i>Columba sp</i>)</b>	2	1,02
<b>Paloma bravía (<i>Columba livia</i>)</b>	4	2,04
<b>Paloma torcaz (<i>Columba palumbus</i>)</b>	11	5,61
<b>Garcilla bueyera (<i>Bubulcus ibis</i>)</b>	2	1,02
<b>Gaviota (<i>Larus sp</i>)</b>	29	14,79
<b>Gaviota argéntea (<i>Larus argentatus</i>)</b>	1	0,51
<b>Gaviota patiamarilla (<i>Larus michahellis</i>)</b>	1	0,51
<b>Lechuza común (<i>Tyto alba</i>)</b>	4	2,04
<b>Águila calzada (<i>Hieraaetus pennatus</i>)</b>	22	11,22
<b>Alimoche (<i>Neophron percnopterus</i>)</b>	2	1,02
<b>Milano real (<i>Milvus milvus</i>)</b>	7	3,57
<b>Cernícalo vulgar (<i>Falco tinnunculus</i>)</b>	8	4,08
<b>Falcónida a determinar (<i>Falco sp</i>)</b>	1	0,51
<b>Cuervo (<i>Corvus corax</i>)</b>	67	34,18
<b>Desconocido</b>	35	17,85
<b>Total</b>	196	100

Tabla 4.- Ordenes afectados por la electrocución, individuos totales y % respecto al total de los afectados

<b>Orden</b>	<b>Número de ejemplares</b>	<b>% respecto al total</b>
<b><i>Columbiformes</i></b>	17	8,67
<b><i>Ciconiiformes</i></b>	2	1,02
<b><i>Charadriiformes</i></b>	31	15,82
<b><i>Strigiformes</i></b>	4	2,04
<b><i>Accipitriformes</i></b>	31	15,82
<b><i>Falconiformes</i></b>	9	4,59
<b><i>Passeriformes</i></b>	67	34,18
<b><i>Desconocido</i></b>	35	17,85

### **Efecto de la tipología del apoyo sobre el riesgo de electrocución**

El número de individuos electrocutados varía de forma significativa en función de la tipología y diseño del apoyo (Chi cuadrado= 28.75; g. l=2; p<0.001). Los tipos de apoyos que más electrocuciones presentaron fueron las derivaciones (D en los análisis). Un

42,7% de los apoyos que presentaron electrocución eran de esta tipología. De los 1.657 apoyos que presentan esa tipología, 64 presentaron electrocución, es decir, un 3,7 % (Tabla 6). El segundo tipo de apoyo con mayor número de muertes de aves fue el que presentaba los cables por encima de la zona de posada (Letra A). Estos apoyos son un 31,3% de los apoyos totales que presentaron electrocución. También es interesante tener en cuenta que estos apoyos presentaron electrocución en 47 de los 758 que presentan esta tipología, un 5,8%, siendo el porcentaje más alto de apoyos con electrocuciones dentro de la misma tipología de apoyo. Respecto a los transformadores (letra T), de los 798 apoyos que presentan esta tipología, 28 de ellos presentaron episodios de electrocución, un 3,5% de ellos. Representan un 18,7%. de los apoyos en los que sucede alguna electrocución. El tipo de apoyo más seguro es el que presenta los cables por debajo del apoyo (letra B). Presentaron electrocución 11 de 953, un 1,2%. Del total de apoyos que presentan electrocución, el 7,3 % son de esta tipología.

Tabla 5.- Resumen de datos para cada tipología del apoyo.

<b>Tipología del apoyo</b>	<b>Total de apoyos</b>	<b>Apoyos con mortalidad</b>	<b>Apoyos sin mortalidad</b>	<b>% mortalidad respecto al total de apoyos mortales</b>
<i>Derivaciones (D)</i>	1.721	64 (3,7%)	1.657 (96,3%)	42,7
<i>Cables por encima (A)</i>	805	47 (5,8%)	758 (94,2%)	31,3
<i>Transformadores (T)</i>	798	28 (3,5%)	770 (96,5%)	18,7
<i>Cables por debajo (B)</i>	953	11 (1,2%)	942 (98,8%)	7,3
<i>Total</i>	4.277	150	4.127	100

### **Efecto de la envergadura de la especie sobre el riesgo de electrocución**

Los resultados no muestran una relación entre la envergadura de las especies y el número de individuos electrocutados ( $R^2 = 0,00412$ ,  $p = 0,85$ ) por lo que no podemos decir que el hecho de presentar una mayor envergadura se relacione con un mayor número de electrocuciones para individuos de esa especie, no tratándose por lo tanto de un factor que incremente el riesgo de electrocución dentro del total de especies afectadas que se recogen en el estudio.

### Efecto de la presencia del apoyo en zona ZP

Los resultados del efecto de la presencia del apoyo en zona ZP no son significativos (Chi cuadrado= 0,0045; g.l. = 1; p = 0,95) (n=4.392), por lo que no podemos apreciar diferencias reseñables en cuanto al número de electrocuciones en función del si el apoyo se encuentra localizado en una zona ZP.

De los apoyos que se encuentran en zona ZP (4.068) un 3,5% presentaron electrocución, 141 de ellos, mientras que no presentaron electrocución 3.927, un 96,5%. En cuanto a los apoyos que no se encuentran en zona ZP, 324, presentaron electrocuciones de aves 11 de ellos, es decir, un 3,4%, mientras que 313, el 96,4% no presentaron electrocución.

Tabla 6.- Resumen de datos acerca de la presencia en zona ZP de los apoyos

	N.º total de apoyos	Apoyos con electrocuciones	Apoyos sin electrocuciones	% mortalidad respecto total apoyos mortales
<b>ZPA</b>	4.068	141 (3,5%)	3.927 (96,5%)	92,76%
<b>No ZPA</b>	324	11 (3,4%)	313 (96,4%)	7,23%
<b>Total</b>	4.392	152	4.240	100

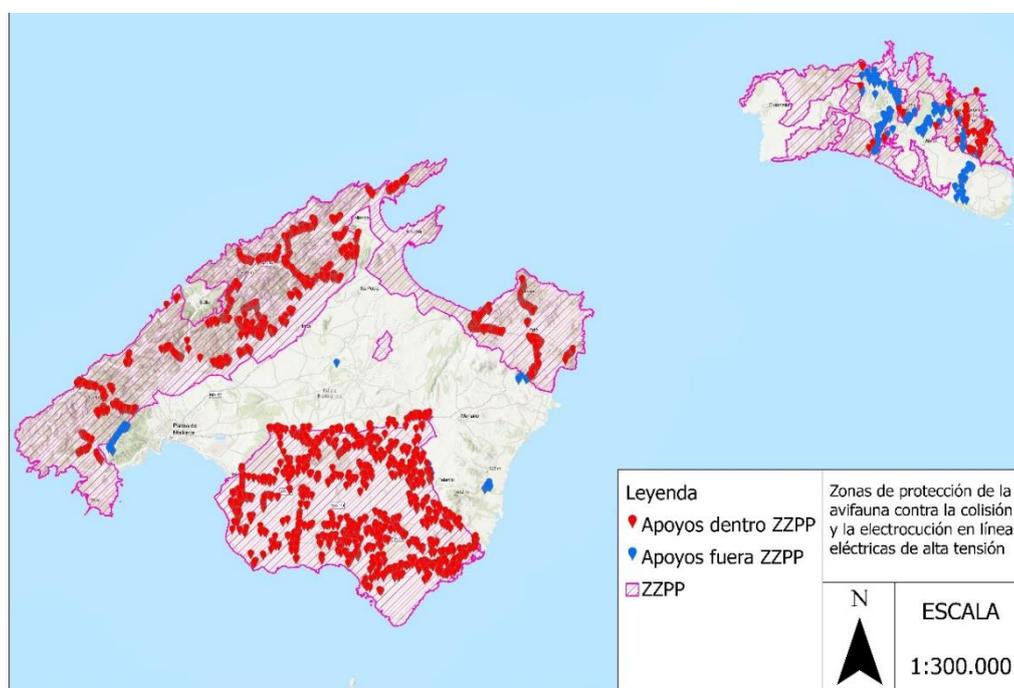


Figura 3.- Distribución de los apoyos en la zona de estudio. Se indica con color rojo aquellos que están dentro de ZP y en azul los que no. Se indica además la localización de las ZP. Fuente: Elaboración propia con QGIS.

### Efecto de la presencia del apoyo en zona ZEPA

Los resultados muestran que la electrocución varía notablemente dependiendo si el apoyo se encuentra en una zona ZEPA o no, (Chi cuadrado = 9,12; g. l = 1;  $p < 0,01$ ), (n = 4.392 apoyos). De los apoyos que se encuentran en zona ZEPA (513), un 1,2% presento electrocución, 6 de ellos, mientras que no presentaron electrocución 507, un 98,8%. En cuanto a los apoyos que no se encuentran en zona ZEPA, 3.879, 146 de ellos si presentaron electrocución, un 3,8%, mientras que 3.733 de ellos, es decir, un 96,2 % no presentaron electrocución.

Tabla 7.- Resumen de datos acerca de la presencia en zona ZEPA de los apoyos.

	N.º total de apoyos	Apoyos con electrocuciones	Apoyos sin electrocuciones	% mortalidad respecto total apoyos mortales
<b>ZEPA</b>	513	6 (1,2%)	507 (98,8%)	3,95
<b>No ZEPA</b>	3.879	146 (3,8%)	3.733 (96,2%)	96,05
<b>Total</b>	4.392	152	4.240	100

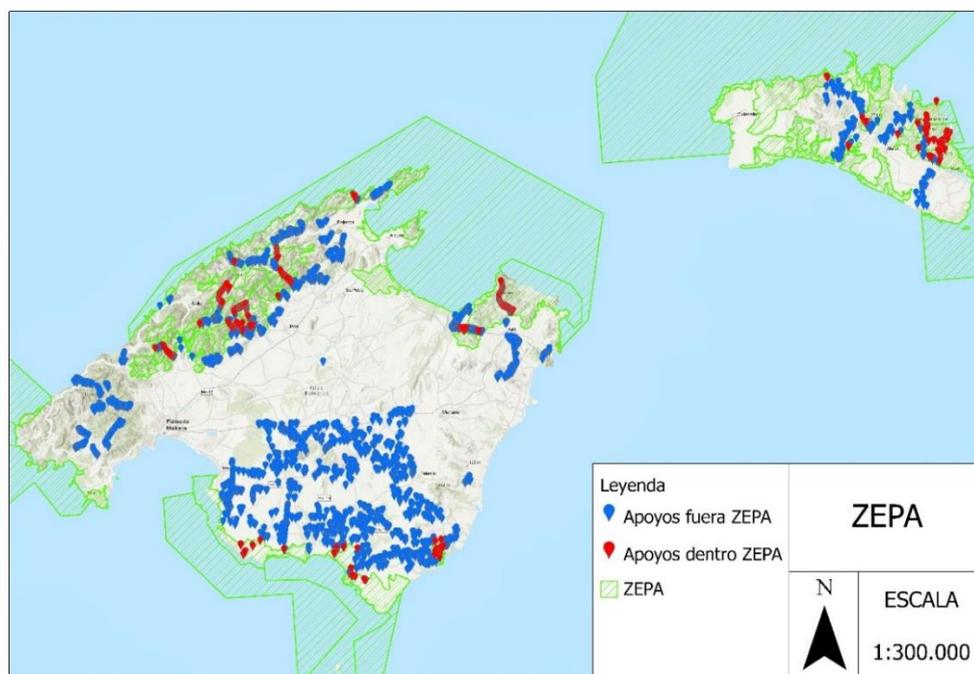


Figura 4.- Distribución de los apoyos en la zona de estudio. Se indica con color rojo aquellos que están dentro de ZEPA y en azul los que no. Se indica además la localización de las ZEPAS. Fuente: Elaboración propia con QGIS.

## Efecto del uso del suelo sobre el riesgo de electrocución

Respecto al análisis del efecto del tipo de ambiente en que se encuentra el apoyo y sobre las electrocuciones, los resultados no son significativos ( $p = 0,31$ ), por lo que no podemos apreciar diferencias significativas en cuanto al número de electrocuciones en función del uso del suelo en el que se encuentra un apoyo.

Tabla 8.- Resumen de datos para cada tipo de uso de suelo.

Unidad de suelo	Total de apoyos	Apoyos con electrocución	Apoyos sin electrocución	% mortalidad respecto al total de apoyos mortales
Urbano	42	0	42 (100%)	0
Cultivo	3.121	114 (3,7%)	3.007 (96,3%)	75
Natural	1.229	38 (3,1%)	1.191 (96,9)	25
Total	4.392	152	4.240	100

## Discusión

### Comunidad de aves afectadas por la electrocución

Como se aprecia en los resultados, gran variedad de especies se ven afectadas por la problemática de tendidos eléctricos. El gran número de individuos (tabla 3) y la diversa variedad de órdenes a los que afecta (tabla 4) nos permite comprobar como este problema afecta de manera extensa a gran parte de la avifauna balear.

Es importante tener en cuenta que el número de ejemplares encontrados es muy inferior al número de individuos que se ve afectado por la electrocución. Actualmente, se estima, que se encuentran sólo un 15% de los individuos electrocutados (GREFA, 2020), debido a diversas causas, como el carroñeo por otras especies, que hace desaparecer el 30% de los cadáveres en los dos primeros días después de la muerte (Ponce *et al.*, 2010) o cadáveres que no son localizados.

Dentro de las especies afectadas por esta problemática, destaca el cuervo, representando un 34,18% de las electrocuciones totales, con 67 individuos. Si bien se constató la regresión de esta especie a finales del siglo XX, se trata de un ave actualmente en expansión en las islas, que se ha beneficiado de los programas anti veneno y la corrección de tendidos enmarcadas en planes de recuperación de milano real (*Milvus milvus*), buitres negro (*Aegypius monachus*) y alimoche común (*Neophron percnopterus*) (Viada, 2006). Estudios realizados en la isla de Menorca, muestra que suele tener una alta tasa de

supervivencia en su primer año de vida, de hasta un 62,5% (De Pablo, 2017). Encontramos 2 especies incluidas en la categoría “En peligro” en el Libro Rojo de las aves de España (Madroño *et al.*, 2004) como son el milano real con 7 ejemplares muertos y el alimoche común, con 2 ejemplares.

El milano real, además, se categoriza como “En peligro crítico” por el Libro Rojo de los Vertebrados de las Baleares en su edición de 2006 (Viada, 2006), mientras que el alimoche se categoriza como “En peligro” en esta misma edición. La electrocución no ha sido la principal amenaza en este territorio para el alimoche salvo líneas puntuales en zonas de cría que han sido corregidas posteriormente tras detectarse accidentes con ellas, si bien para el milano real es la segunda causa de muerte, representando un 10% de la mortalidad no natural en Mallorca (Viada, 2006). A pesar del paso del tiempo desde los estudios de Viada (2006) y las correcciones de los tendidos, estas especies siguen muriendo electrocutadas en los mismos.

El género *Larus* (gaviotas) es el segundo más afectado con un total de 31 individuos. De ellos 29 no fueron identificadas a nivel de especies, y los otros dos ejemplares correspondían uno a Gaviota argéntea (*Larus argentatus*) y otro a Gaviota patiamarilla (*L. michahellis*), especies no recogidas en el Libro Rojo de los Vertebrados de las Baleares en su edición de 2006 y que son nidificantes en la isla (Viada, 2006; GOB, 2010).

El águila calzada (*Hieraaetus pennatus*), con 22 ejemplares, es la rapaz con más electrocuciones. Se categoriza “como preocupación menor” en Baleares (Viada 2006) y como “No evaluado” en el Libro Rojo de las Aves de España en su edición de 2004 (Madroño *et al.*, 2004), aunque, como todas las rapaces, está presente en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial (R.D. 139/2011 de 4 de febrero). En el Libro Rojo de los Vertebrados de las Baleares, edición de 2006, identifica las electrocuciones como una de las grandes amenazas para la especie, junto con la degradación del hábitat y la alteración de las áreas de cría (Viada, 2006).

El listado de especies electrocutadas y el porcentaje de cada una de ellas difiere considerablemente respecto a resultados obtenidos en estudios similares realizados en la península ibérica. El cuervo, especie más afectada por la electrocución en Baleares (34,2 % de las electrocuciones, Tabla 3), supone en la península un 2,81% de las electrocuciones registradas, según resultados obtenidos de la base de datos proporcionada por GREFA para la península ibérica, que consta con 1.031 electrocuciones registradas

en España Un porcentaje similar obtiene Pérez-García 2014, con un 2,5% para la Comunidad Valenciana (un 6,69% si incluimos al resto de córvidos afectados, cornejas (*Corvus corone*), y urracas (*Pica pica*)). Un porcentaje mayor, 17,17%, podemos encontrar en la base de datos obtenida del proyecto “Pon un tendido en tu punto de mira”, llevado a cabo por la Sociedad Ibérica para el Estudio y la Conservación de los Ecosistemas (SIECE en adelante). Esta diferencia tan notable puede deberse al aumento de las poblaciones de esta especie en las islas en los últimos años y a la tipología diferencial de los tendidos que encontramos en Islas Baleares, donde son habituales las derivaciones y los apoyos estrechos de montaje en “1” o “en cruz” de aisladores rígidos con poste de madera, que minimizan la importancia de la envergadura respecto al riesgo de electrocución, frente a los tendidos que encontramos en la Península Ibérica, donde este tipo de apoyos apenas se utiliza (J.J. Iglesias, comunicación personal). Esto implica que las electrocuciones en Baleares no necesariamente afectan a especies con grandes envergaduras como las grandes águilas, sino que afecta de forma notable a especies que, por su comportamiento, utilizan en gran medida los apoyos como posadero, como el cuervo.

Respecto a las aves rapaces diurnas (Accipitriformes y falconiformes), en la base de datos obtenida por GREFA para la península ibérica representan 567 electrocuciones, un 55% respecto al total, pertenecientes a 14 especies distintas. Este grupo de especies representan un 40,46% en los registros del SIECE, pertenecientes a 22 especies, y hasta un 80,75% en Pérez-García 2014, pertenecientes a 8 especies. En Baleares, suponen un 20,41% de las electrocuciones, incluyendo 4 especies distintas. Se puede apreciar una diferencia notable de modo que en la Península Ibérica una de cada dos electrocuciones aproximadamente involucra a una rapaz, mientras que en las Islas Baleares, donde estas aves se ven afectadas una de cada seis veces. Estos resultados pueden ser debidos a la insularidad y sus efectos sobre la comunidad de aves. La avifauna insular suele tener un menor número de especies (tal como postula la biogeografía de islas) (Lizana & Montesinos, 2007) y a menudo se produce una reorganización de las comunidades de aves. Como consecuencia, esto podría dar lugar a una posible sustitución del nicho trófico que ocupan las aves rapaces diurnas en las islas con relación a los ambientes continentales. En este caso el cuervo, cuya población en las islas está en aumento (Viada, 2006), podría ocupar el nicho ambiental que dejan las especies que no han conseguido colonizar las islas. También podría tener que ver con variaciones en el comportamiento

de las aves asociados a esa reorganización de las comunidades de aves, o incluso con diferencias en la configuración de los apoyos. En el caso del cuervo, podría darse una mayor predisposición del mismo hacia las electrocuciones por su preferencia a posarse en las partes internas de los apoyos (Viada, 2017). Además, el número de especies de aves rapaces presentes en la península es considerablemente mayor que el que encontramos en las islas, (14 en la base de datos de GREFA para la península, y hasta 22 en registros del SIECE frente a 4 en Islas Baleares) por lo que es esperable que se electrocute una mayor variedad de ellas y, al ocupar estas especies distintos nichos ecológicos y presentar una mayor diversidad de comportamientos, se acentúe el número de electrocuciones.

Por ejemplo, una de las diferencias más significativas entre las comunidades de aves de la península y las de las Islas Baleares es la ausencia en estas últimas del Ratonero (*Buteo buteo*). Se trata de una de las rapaces más afectadas por esta problemática en la península (Baquedano & Peris, 2003), representando el 47,69% de las rapaces electrocutadas en la base de datos de GREFA y un 25,8% del total de aves. Es probable que la ausencia como reproductor de esta especie en Islas Baleares (GOB, 2010), propicie que su nicho ecológico sea ocupado por otras especies como cuervos, o incluso, gaviotas, si bien sería necesario realizar un estudio detallado acerca de esta posibilidad.

Parece bastante lógico, por otro lado, que el carácter insular de las Islas Baleares y su proximidad a la costa, explique los resultados obtenidos en otros grupos, tales como las gaviotas, *Larus sp*, que representan un 15,82% de las electrocuciones frente a la base de datos de GREFA, Pérez-García y del SIECE, donde representan menos del 1%.

### **Efecto de la tipología del apoyo sobre el riesgo de electrocución**

Tal como se esperaba, los análisis realizados muestran la influencia del diseño del apoyo sobre el riesgo de electrocución. Diversos estudios constatan que la tipología de los apoyos se relaciona directamente con su peligrosidad, ya que el diseño del mismo facilita el contacto del individuo con los conductores (Olendorff, 1981; Ferrer *et al.*, 1991; Prinsen *et al.*, 2011), presuponiendo que tipologías con partes peligrosas más accesibles, como cables, o variaciones de apoyos como derivaciones, presentaran un mayor número de muertes.

El tipo de apoyo menos peligroso es el que presenta los cables por debajo de la zona de posada (Ferrer *et al.*, 1991; Bevanger, 1994; Ferrer, 2012) representando en nuestra zona

de estudio un 7,3% de las electrocuciones totales. Los tendidos más peligrosos serían las derivaciones, con 42,7% de electrocuciones y los apoyos que presenta los cables por encima, con 31,3% de electrocuciones, si bien cabe destacar que estos últimos presentan el mayor porcentaje de apoyos con mortalidad dentro de cada tipología de apoyo, con un 5,8%, seguidos de las derivaciones, con un 3,7% y los transformadores con un 3,5%.

Las derivaciones se posicionan como el tipo de tendido más peligroso en cuanto a número de electrocuciones causadas. Esto sería debido a la gran cantidad de elementos conductores que presentan, aumentando de forma considerable el riesgo de contacto con dichos elementos (Garrido & Martín, 2015). Por su parte, los transformadores presentan un problema parecido al de las derivaciones, ya que tienen gran cantidad de elementos conductores que maximizan la posibilidad de contacto con ellos. En este caso, se posicionan en tercer lugar respecto a la peligrosidad de los tendidos representando un 18,7% de las muertes.

### **Efecto de la envergadura de la especie sobre el riesgo de electrocución**

No se obtienen resultados significativos en cuanto al efecto de la envergadura en el riesgo de electrocución. Estudios previos han señalado que la envergadura de la especie afectada, en especies medianas o grandes, hace que se maximicen las posibilidades de contacto entre dos elementos conductores de electricidad (Bevanger, 1998). La ausencia de resultados significativos puede deberse a varios motivos. En primer lugar, hay que tener en cuenta que solo se ha incluido la envergadura de las especies electrocutadas, no la de todas las especies presentes en Baleares. Además, hay otra serie de motivos de gran importancia, como el uso de apoyos de madera con aisladores rígidos y cables muy cercanos, denominados de “montaje en cruz” o “1”, en las islas (no así en la península, donde son escasos) (J.J. Iglesias, comunicación personal). En este tipo de apoyos la envergadura no resulta ser un factor desencadenante de la electrocución, al igual que en las derivaciones, donde al encontrarse tantos elementos conductores se reduce la distancia entre conductor y tierra, asumiéndose una mayor posibilidad de electrocución, también para especies de menor tamaño. Además, el bajo tamaño muestral de algunas especies, la diferencia en cuanto al número de individuos electrocutados de cada especie (varía entre 64 electrocuciones para el cuervo y 1 para la gaviota patiamarilla) y la similitud respecto a la envergadura de las especies implicadas son otros motivos que pueden influir en los resultados obtenidos.

Por otro lado, también es necesario tener en cuenta que no solo la envergadura condiciona el riesgo de electrocución, sino otros hábitos de las especies como la frecuencia de uso del apoyo como posadero (especialmente alto en Ciconiiformes y Accipitriformes). Tenemos un buen ejemplo con el caso del águila calzada, una especie que tiene la costumbre de situarse en partes internas del apoyo o la de alimentarse sobre ellos, lo que aumenta las probabilidades de electrocución (Viada, 2017).

### **Efecto de la presencia del apoyo en zona ZP**

Es interesante destacar que la gran mayoría de los apoyos analizados se encontraban en zonas con algún grado de protección o clasificación del terreno relacionada con la conservación.

La localización del apoyo, dependiendo si se encuentra en una zona ZP o no, no influye en el riesgo de electrocución. Se ha realizado un análisis de 4.392 apoyos, de los cuales 4.068 se encuentran en zonas ZP, un 92,62%.

A pesar de que este tipo de figura ha sido específicamente creada para evitar esta problemática, no se encuentran diferencias significativas entre el número de electrocuciones fuera o dentro de esta figura, si bien esto puede deberse a las características de los datos analizados. Al presentarse estos porcentajes respecto a la cantidad de apoyos del estudio que se encuentran en este tipo de zona (92, 62% de los apoyos en zonas ZP frente al 7,38% fuera de esas zonas), el análisis debe ser tomado con cautela. No obstante, lo que llama la atención es que a pesar de que la mayoría de los apoyos revisados se encuentran dentro de una zona específicamente designada para disminuir el riesgo de electrocución, se sigue produciendo una mortalidad no desdeñable de aves.

### **Efecto de la presencia del apoyo en zona ZEPA**

La localización del apoyo, dependiendo si se encuentra en una zona ZEPA o no, si influye en el riesgo de electrocución. El análisis realizado muestra, de forma significativa, que la presencia de estas áreas reduce la electrocución. De los 4.392 apoyos, 513 se encuentran en zona ZEPA, de los que un 1,2% presentaron episodios de electrocución, frente a los 3.879 que no se encuentran en zona ZEPA, y de los cuales un 3,8 % provocaron electrocuciones.

El hecho de que un tendido eléctrico se sitúe en una ZEPA hace que se haya priorizado la adecuación para la avifauna, ya que gran parte de estas áreas han recibido actuaciones de este tipo en programas para la conservación de especies como el milano real, el buitre negro y el águila de bonelli (Viada, 2006; LIFE Bonelli, 2018).

### **Efecto del uso del suelo sobre el riesgo de electrocución**

Si bien se esperarían un mayor número de electrocuciones en zonas despejadas con poca disponibilidad de posaderos naturales (Ferrer *et al.*, 1991; Lehman *et al.*, 2007), no se encuentran diferencias significativas en cuanto al uso del suelo donde se localiza el apoyo. No obstante, la mayor extensión de los cultivos (71% de los apoyos) da lugar a que este sea el tipo de uso que acumula el mayor número de electrocuciones (75%).

Por un lado, es necesario destacar que, dentro de los apoyos con el mismo uso de suelo, no hay casi diferencias en cuanto al porcentaje de apoyos que causaron electrocución, con un 3,1% en apoyos situados en zona de uso de suelo “natural” y un 3,7% en apoyos situados en zona de uso de suelo para “cultivos”. Por otro lado, destaca que no se registró ninguna electrocución en apoyos situados en suelo urbano. Esto puede deberse al bajo número de apoyos analizados presente en este tipo de uso de suelo, un total de 42.

### **Conclusiones**

La electrocución y la colisión son un problema que afecta a un gran número de aves a nivel mundial. Si bien en España es pionera en abarcar este tipo de problemática, y se han realizado acciones para reducir esta amenaza para distintas especies, se hace necesaria una mayor inversión tanto en el estudio como en la implantación de medidas correctoras, tal como muestra este trabajo.

La comunidad de aves electrocutadas muestra ciertas diferencias con relación a estudios similares en otras zonas. Destacan la mortalidad del cuervo, que representa en el ambiente balear un 34,18% frente a valores que rondan entre el 2,5 y el 17% en la península y las gaviotas, que suponen un 15,82% frente a menos del 1% que suponen en la península. Ambas fueron las especies con mayor número de electrocuciones. En zonas continentales, como la Península Ibérica, las especies más afectadas por esta problemática son las aves rapaces diurnas que suponen, aproximadamente, un 50% de las electrocuciones, mientras que, en las Islas Baleares, durante los años 2018, 2019 y 2020 supusieron un 20,41%,

menos de la mitad que en la Península Ibérica. Los rasgos propios de la comunidad de aves de Baleares, debidos a su carácter insular, podrían explicar estas diferencias con relación a otras zonas.

Por su parte, la muerte de especies con estado de conservación desfavorable, tales como el milano real o el alimoche en Baleares, señalan a la electrocución como una de las principales amenazas para este tipo de especies.

Si bien el soterramiento de las líneas eléctricas es un procedimiento costoso y en ocasiones no viable, el correcto diseño los apoyos, simplificando derivaciones y eliminando apoyos con cables por encima de la zona de posada, (ambos los tipos de apoyos más peligrosos para las aves), como se presupone que se realiza en las zonas ZEPA (donde se observa que se dan menos casos de electrocución) son medidas básicas que ayudarán a reducir el número de accidentes con líneas eléctricas.

## **Agradecimientos**

Este trabajo no habría sido posible sin el esfuerzo encomiable de los profesionales que han revisado tendidos y recogido información para minimizar esta gran amenaza para la fauna, por ello nuestro agradecimiento a Ibanat, Fundación Natura Parc, proyecto Aquila a-Life, Agents de Medi Ambient de les Illes Balears, Govern de les Illes Balears y Grefa. Algunas de las personas que no queremos olvidar son Iván Ramos, Rafel Más, Tomeu Morro, Jacobo Guerra, Javier Reina, Clara Fuertes, Carlota Viada, Juan Pablo Díaz y Marina Tysoe.

Gracias a mis padres, mi hermana y Rocío; mi familia, por apoyarme y animarme en todo momento a sacar la mejor versión de mi en la realización de este proyecto. A Álvaro Corchete, por ayudarme cuando no encontraba soluciones a los problemas que surgían, y, en especial, me gustaría agradecer a mi tutor interno Álvaro Ramírez por sus orientaciones, consejos y anotaciones que han hecho de mi trabajo uno superior, y a mi tutor externo Juan José Iglesias, por su apoyo, indicaciones, ayuda, consejos y enseñanzas en un tema tan apasionante como la problemática de las aves con los tendidos eléctricos. Sin vosotros no habría sido posible.

## Bibliografía

- Baquedano, R & Peris, S.J. (2003) *Accidentalidad invernal del Busardo Ratonero (B. buteo) en tendidos eléctricos en la Península Ibérica*. Munibe (Ciencias Naturales- Natur Zientziak). Nº54. 113-120.
- Bayle, P. (1999). *Preventing birds of prey problems at transmission lines in western Europe*. Journal of Raptor Research, 33, 43-48.
- Bevanger, K. (1994). *Bird interactions with utility structures: collision and electrocution, causes and mitigation measures*. Ibis, 136: 412–425
- Bevanger, K. (1998). *Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review*. Biological conservation, 67-76.
- BOE (2011). Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas. BOE, 46: 20912-20951
- Carrete, M., Sánchez-Zapata, J. A., Martínez, J. E., Sánchez, M. Á., & Calvo, J. F. (2002). *Factors influencing the decline of a Bonelli's eagle Hieraaetus fasciatus population in southeastern Spain: demography, habitat or competition?* Biodiversity & Conservation, 11, 975-985.
- CORINE Land Cover, (2012). Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE), Ministerio de Fomento, Dirección General del Instituto Geográfico Nacional.
- Decreto 96/2005, de 23 de septiembre, de aprobación definitiva de la revisión del Plan Director Sectorial Energético de las Islas Baleares
- De Pablo, F. (2017) *Causas de mortalidad del cuervo en Menorca durante su primer año de vida*. Revista de Menorca, Institut Menorquí d'Estudis, 237-249.
- Ferrer, M., de la Riva, M. y Castroviejo, J. (1991). *Electrocution of raptors on power lines in Southern Spain*. Journal of Field Ornithology, 62: 54–69.
- Ferrer, M., & Negro, J.J. (1992). *Tendidos eléctricos y conservación de aves en España*. Ardeola 39: 23-27
- Ferrer, M. (2012). *Aves y Tendidos Eléctricos. Del Conflicto a la Solución*. Fundación MIGRES-Endesa.
- Fox, J. & Bouchet-Valat, M. (2019). Rcmdr: R Commander. R package version 4.0.4.

- Garrido, J. R. & Martín, J. (2015). *Identificación de tendidos eléctricos peligrosos*. En: *Manual para la protección legal de la biodiversidad para los agentes de la autoridad ambiental en Andalucía*. I. Fajardo, J. Martín y A. Ruiz (coordinadores). Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía. Sevilla.
- GOB, 2010. *Atles dels aucells nidificants de Mallorca i Cabrera, 2003-2007*. Palma. Adrover, J. 2010. *Terrola Calandrella brachydactyla a: Atles dels aucells nidificants de Mallorca i Cabrera, 2003-2007*. GOB. Palma.
- González L. M., Margalida, A., Mañosa, S., Sánchez, R., Oria, J., Molina, J. I., Caldera, J., Aranda, A. & Prada, L. (2007). *Causes and spatio-temporal variations of non-natural mortality in the vulnerable Spanish Imperial Eagle (Aquila adalberti) during a recovery period*. *Oryx*, 41, 495-502.
- GREFA, 2020. *Libro Blanco de la electrocución en España. Análisis y propuestas*. AQUILA a-LIFE (LIFE16 NAT/ES/000235). 100 págs. Madrid.
- Guil, F., Colomer, M., Moreno-Opo, R., Margalida, A. (2015). *Space-time trends in Spanish bird electrocution rates from alternative information sources*. *Global Ecology and Conservation*, 2015, vol. 3, p. 378-388. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.01.005>.
- Guil, F., Fernández-Olalla M., Moreno-Opo, R., Mosqueda, I., Gómez, M. E., Aranda, A., Arredondo, A., Guzmán, J., Oria, J., González, L.M. & Margalida, A. (2011). *Minimising Mortality in Endangered Raptors Due to Power Lines: The Importance of Spatial Aggregation to Optimize the Application of Mitigation Measures*. *PLoS ONE*, 6.
- Hernández-Lambraño RE, Sánchez- Agudo JÁ, Carbonell R. *Where to start? Development of a spatial tool to prioritise retrofitting of power line poles that are dangerous to raptors*. *J Appl Ecol*. 2018;55:2685–2697. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13200>
- Iglesias, J.J., Llamas, A. & Álvarez, E. (2018). *Uso del espacio en Águila de Bonelli (Aquila fasciata): Supervivencia, dispersión y asentamiento durante el proyecto LIFE Bonelli*. Pp 131-151. En: Equipo LIFE Bonelli (Ed.). *Recuperación Integral de las poblaciones de Águila de Bonelli en España*. Actas del Seminario Internacional, Sangüesa, Navarra, septiembre 2017.
- Infante, O. y Peris, S. (2003). *Bird nesting on electric power supports in northwestern Spain*. *Ecological Engineering*, 20: 321-326.
- Lehman, R. N., Kennedy, P. L., & Savidge, J. A. (2007). *The state of the art in raptor electrocution research: a global review*. *Biological conservation*, 136, 159-174.

- LIFE Bonelli (2018). *Recuperación integral de las poblaciones de Águila de Bonelli en España*. LIFE 12NAT/ES/000701. Actas del Seminario Internacional (Sangüesa-Navarra, septiembre de 2017).
- Lizana, M., & Viejo Montesinos, J. L. (2007). *La diversidad animal de España*. Documentación Administrativa, (278-279). <https://doi.org/10.24965/da.v0i278-279.9581>.
- Madroño, A., González, C & Atienza, J.C. (Eds.) (2004). *Atlas y Libro Rojo de las Aves de España*. Dirección General para la Biodiversidad SEO-BirdLife. Madrid.
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Caracterización del litoral. Costas de las Islas Baleares. (En línea) Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/conociendo-litoral/zonas-litorales-espanolas/clasificacion-geografica/costa-islas-baleares.aspx> [Fecha de consulta: agosto de 2021]
- Mojica, E. K., Dwyer, J.F., Harness, R.E., Williams, G.E., & Woodbridge, B. (2018). *Review and synthesis of research investigating Golden Eagle electrocutions*. The Journal of Wildlife Management, 82. 495-506.
- Moleón, M., Bautista, J., Garrido, J. R., Martín-Jaramillo, J., Ávila, E. & Madero, A. (2007). *La corrección de tendidos eléctricos en áreas de dispersión de águila-azor perdicera: efectos potenciales positivos sobre la comunidad de aves rapaces*. Ardeola, 54, 319-325.
- Ontiveros, D., Real, J., Balbontín, J., Carrete, M., Ferreiro, E., Ferrer, M., Mañosa, S., Pleguezuelos, J. M. & Sánchez-Zapata, J. A. (2004). *Biología de la conservación del Águila Perdicera Hieraaetus fasciatus en España: investigación científica y gestión*. Ardeola, 51, 461-470.
- Olendorff, R. R., Miller, A. D. & Lehman, R. N. (1981). *Suggested practices for raptor protection on power lines: The state of the art in 1981*. Raptor Research Report No. 4. Utah: Raptor Research Foundation.
- Pérez-García, J. M., Botella, F., Sánchez-Zapata, J. A. & Moleón, M. (2011). *Conserving outside protected areas: edge effects and avian electrocutions on the periphery of Special Protection Areas*. Bird Conservation International, 296-302.
- Pérez-García, J.M. (2014). *Modelos predictivos aplicados a la corrección y gestión del impacto de la electrocución de aves en tendidos eléctricos*. Tesis doctoral. Universidad Miguel Hernández, Elche.
- Pérez-García, J. M., Botella, F. & Sánchez-Zapata, J. A. (2015). *Modelos predictivos aplicados a la corrección y gestión del impacto de la electrocución en tendidos eléctricos sobre las aves*. Revista Catalana d'Ornitologia, 31, 61-83.

- Pérez-García, J. M., Sebastián-González, E., Botella, F., & Sánchez- Zapata, J. A. (2016). *Selecting indicator species of infrastructure impacts using network analysis and biological traits: Bird electrocution and power lines*. *Ecological Indicators*, 60, 428–433. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.07.020>
- Ponce, C., Alonso, J. C., Argandoña, G., García Fernández, A., & Carrasco, M. (2010). *Carcass removal by scavengers and search accuracy affect bird mortality estimates at power lines*. *Animal Conservation*, 13(6), 603-612.
- Prinsen, H. A. M, Boere, G. C., Pires, N. & Smallie, J. J. (2011). *Review of the conflict between migratory birds and electricity power grids in the African-Eurasian region*. CMS Technical Series No. 20, AEW Technical Series N°. 20, Bonn, Germany.
- Real Decreto 1432/2008. Ley N° 14914. Boletín Oficial del Estado, Gobierno de España, 13 septiembre 2008
- Sanz- Zuasti, J. Velasco, T. et al. (2005). *Guía de las aves de Castilla y León. Nueva edición revisada y ampliada*. Editorial: Náyade. Medina del campo. Valladolid.
- Sociedad Ibérica para el Estudio y la Conservación de los Ecosistemas (SIECE) (1 de septiembre de 2021) *Pon un tendido en tu punto de mira*. Objetivo tendidos. (En línea) Disponible en: <http://objetivotendidos.blogspot.com/p/quienes-somos.html> [Fecha de consulta: septiembre de 2021]
- Soria, M. A. & Guil, F. (2017). *Primera aproximación general al impacto provocado por la electrocución de aves rapaces: incidencia sobre las aves e impacto económico asociado*, presentado en 7º Congreso Forestal Español, Plasencia.
- Tragsatec (2014). *Estudio de integración de necesidades de financiación impuestas por el R.D. 1432/2008, con el mecanismo previsto a través de un Plan de Impulso al Medio Ambiente*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación – Ministerio Para la Transición Ecológica, Gobierno de España. 128 pp.
- Turcek, F.J. (1960). *On the damage by birds to power & communication lines*. *BirdStudy*, 7: 231
- Viada, C. 2006. *Libro rojo de los vertebrados de las Baleares. 3ª edición*. Palma: Conselleria de Medi Ambient del Govern de les Illes Balears.
- Viada, C. 2017. *Mortalidad de aves por electrocución en tendidos eléctricos en Baleares, 1999-2016*. Estudio técnico para la Dirección General de Espacios Naturales y Biodiversidad. Conselleria de Medi Ambient, Agricultura y Pesca. Marzo, 2017. 19 pp.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1997). *Human domination of Earth's ecosystems*. *Science*, 277(5325), 494-499