



Líneas eléctricas y vida silvestre

Directrices para prevenir y mitigar la mortalidad de la fauna asociada a las redes aéreas de electricidad

Editores: Justo Martín Martín, José Rafael Garrido López y Helena Clavero Sousa

Primera edición



UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA

redeia

Acerca de la UICN

La UICN es una Unión de Miembros compuesta por Estados soberanos, agencias gubernamentales y organizaciones de la sociedad civil. La UICN pone a disposición de las entidades públicas, privadas y no gubernamentales, los conocimientos y las herramientas que posibilitan, de manera integral, el progreso humano, el desarrollo económico y la conservación de la naturaleza.

Creada en 1948, la UICN se ha convertido en la red ambiental más grande y diversa del mundo. La UICN cuenta con la experiencia, los recursos y el alcance de sus más de 1400 organizaciones Miembro y los aportes de alrededor de 17.000 expertos. La UICN es uno de los principales proveedores de datos, evaluaciones y análisis sobre conservación. Su extensa y diversa membresía hacen de la UICN una incubadora y un repositorio confiable de las mejores prácticas y herramientas de conservación, así como de las directrices y estándares internacionales.

La UICN proporciona un espacio neutral en el que actores diversos, incluyendo gobiernos, ONG, científicos, empresas, comunidades locales, grupos indígenas, organizaciones religiosas y otros pueden trabajar juntos para crear e implementar soluciones a los retos ambientales y lograr un desarrollo sostenible.

La UICN trabaja con diversos socios y simpatizantes para llevar a la práctica un amplio y diverso portafolio de proyectos de conservación en todo el mundo. Estos proyectos, que combinan los últimos avances científicos con los conocimientos tradicionales de las comunidades locales, procuran detener y revertir la pérdida de hábitats, restaurar los ecosistemas y mejorar el bienestar humano.

www.iucn.org/es

Acerca del Centro de Cooperación del Mediterráneo de la UICN

El Centro de Cooperación del Mediterráneo de la UICN se inauguró en Málaga (España) en octubre de 2001 con el apoyo central del Ministerio de Medio Ambiente de España y el Gobierno regional de la Junta de Andalucía. En la región mediterránea UICN cuenta con más de 260 Miembros en 25 países, incluidos estados, gobiernos subnacionales y ONG nacionales e internacionales. Su misión es influir, alentar y ayudar a las sociedades mediterráneas a conservar y utilizar de manera sostenible los recursos naturales de la región y trabajar con los miembros de la UICN y cooperar con todas las demás agencias que comparten sus objetivos.

<https://iucn.org/es/our-work/region/mediterraneo>

Líneas eléctricas y vida silvestre

Directrices para prevenir y mitigar la mortalidad
de la fauna asociada a las redes aéreas de electricidad

Editores: Justo Martín Martín, José Rafael Garrido López y Helena Clavero Sousa

Primera edición



CC BY-NC 4.0 Attribution 4.0 International. Esta obra está sujeta a una licencia Creative Commons: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. El usuario podrá distribuir, mezclar, adaptar y desarrollar el contenido de la obra original. El usuario deberá citar claramente a la UICN como fuente del material e indicar si se han introducido cambios en el contenido original. Sólo se permiten usos no comerciales de la obra. No está permitido reproducir el nombre ni el logotipo de la UICN en adaptaciones, traducciones u otras obras derivadas.

Las adaptaciones/traducciones/productos derivados no deben incluir ningún emblema ni logotipo oficial, salvo que hayan sido aprobados y validados por la UICN. Para obtener autorización, pónganse en contacto con nosotros (logo@iucn.org).

En los casos en los que el contenido publicado por la UICN, como imágenes, gráficos, marcas o logotipos, sea propiedad de terceros, será responsabilidad exclusiva del usuario de dicho contenido obtener de los titulares las autorizaciones necesarias.

El usuario reconoce y acepta que cualquier transformación, adaptación, traducción o alteración del Contenido Original proporcionado por la UICN, en adelante denominado "Contenido Original", se realiza bajo su propio riesgo. La UICN no será responsable en ningún caso de daños, pérdidas o consecuencias derivadas del uso, modificación o adaptación del Contenido Original. El Usuario se compromete a cumplir con todas las leyes y normativas aplicables al transformar, adaptar o redistribuir el Contenido Original. Asimismo, la UICN no garantiza la calidad, exactitud, integridad ni conformidad legal del Contenido Original tras su transformación o adaptación. La UICN declina expresamente toda responsabilidad por cualquier infracción de derechos de autor, marca registrada u otra infracción legal que pueda derivarse de la modificación o el uso no autorizado del Contenido Original.

La presentación del material en esta publicación y las denominaciones empleadas para las entidades geográficas no implican en absoluto la expresión de una opinión por parte de la UICN sobre la situación jurídica de un país, territorio o zona, o de sus autoridades, o acerca de la demarcación de sus límites o fronteras.

Los puntos de vista que se expresan en esta publicación no reflejan necesariamente los de la UICN.

La UICN se complace en agradecer el apoyo de sus socios marco por su financiación del programa de la UICN: el Ministerio de Asuntos Exteriores, Dinamarca; el Ministerio de Asuntos Exteriores, Finlandia; el Gobierno de Francia y la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD); el Ministerio de Medio Ambiente, República de Corea; el Ministerio de Medio Ambiente, Clima y Biodiversidad, Grand Ducado de Luxemburgo; la Agencia Noruega para la Cooperación al Desarrollo (Norad) y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).

Esta publicación ha sido posible gracias a la financiación de Redeia Corporación, S.A.

Publicado por: UICN, Gland, Suiza

Producido por: Centro de Cooperación del Mediterráneo de la UICN (UICN Med), Málaga, España

Derechos reservados: © 2026 UICN, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales

Citación recomendada: Martín Martín, J., Garrido López, J. R. y Clavero Sousa, H. (Eds.) (2026). *Líneas eléctricas y vida silvestre. Directrices para prevenir y mitigar la mortalidad de la fauna asociada a las redes aéreas de electricidad. Primera edición.* UICN

Los capítulos individuales de este informe deben citarse como:

Apellido(s), iniciales. [de los autores del capítulo] (2026). Título del capítulo. En: Martín Martín, J., Garrido López, J. R. y Clavero Sousa, H. (Eds.) (2026). *Líneas eléctricas y vida silvestre. Directrices para prevenir y mitigar la mortalidad de la fauna asociada a las redes aéreas de electricidad. Primera edición.* UICN

ISBN: 978-2-8317-2390-7 (PDF) / 978-2-8317-2391-4 (versión impresa)

DOI: <https://doi.org/10.2305/JNVL6214>

Fotos de portada: Delantera: Águila mora, Chile. © Darío de la Fuente
Trasera: Mono aullador o saraguato de manto, Costa Rica. Michelle Monge-Velázquez (CC-BY), iNaturalist

Diseño y diagramado: miniestudio.es

Contenido

Prólogo de la Coordinadora del Programa de Cambio Climático y Transición Energética de la UICN	viii
Prólogo de la Presidenta de Redeia	xii
Resumen ejecutivo	xiv
Acerca de este manual	xx
Contexto	xx
Alcance y objetivos	xxii
Público objetivo	xxvi
Mensajes clave	xxviii
Colaboradores	xxx
Agradecimientos	xxxiv
Glosario	xxxv
Acrónimos	xliv
1. Introducción	1
1.1. Contexto global	2
1.2. Contexto latinoamericano	9
2. Energía y líneas eléctricas	17
2.1. Producción y transmisión de energía	18
2.2. Componentes de una línea eléctrica	23
2.3. Tipos de soportes	36

3. Impacto de las líneas eléctricas en la naturaleza **40**

3.1. Impactos sobre el paisaje	41
3.2. Cambios en la estructura del hábitat	42
3.3. Contaminación atmosférica y acústica	44
3.4. Interacciones con la fauna	46
3.4.1. Interacciones positivas	46
3.4.2. Interacciones negativas	49
3.4.3. Impacto sobre las especies sensibles	54
3.5. Impacto de la fauna en las líneas y el suministro eléctrico	57

4. Electrocuciiones **61**

4.1. El riesgo de electrocución	62
4.2. La electrocución en las aves	69
4.2.1. Diseño y configuración de la cruceta	69
4.2.2. Grupos de aves sensibles a la electrocución	70
4.2.3. Factores ambientales	75
4.3. La electrocución en otros grupos zoológicos	77
4.4. Puntos de alta mortalidad por electrocución	81
4.5. Medidas antielectrocución	83
4.6. Eficacia de las medidas antielectrocución	93
4.7. Elección de las medidas	100

5. Colisiones **102**

5.1. El riesgo de colisión	103
5.2. Factores que influyen en el riesgo de colisión	104
5.2.1. Características de la línea eléctrica	104
5.2.2. Tipo de aves sensibles a la colisión	106
5.2.3. Factores ambientales	111

5.3. Líneas eléctricas peligrosas y puntos negros de colisión	114
5.4. Medidas anticolidión (preventivas, mitigadoras y correctoras)	116
5.5. Tipos de dispositivos señalizadores	122
5.6. Eficacia de los dispositivos señalizadores	124
5.7. Avances recientes en señalización y monitoreo de líneas	126

6. Diagnóstico y evaluación de lesiones o muertes de fauna debidas a las líneas eléctricas	132
6.1. Señales de electrocución en los cuerpos de animales heridos	133
6.2. Señales de colisión en los cuerpos de las aves heridas	139
6.3. Diagnóstico de la causa de la muerte	140
6.4. Laboratorios de referencia	146

7. Monitoreo de líneas: toma de datos y análisis de la información	149
7.1. Información de base y fuentes de información	151
7.2. Especies y zonas prioritarias	159
7.3. Mapas de sensibilidad y riesgo	161
7.4. Líneas y postes prioritarios	165
7.5. Toma y recopilación de datos de campo	168
7.6. Evaluación de la mortalidad real	175
7.7. Creación de base de datos y mapas	181
7.8. Importancia de la difusión de la información	182

8. Planificación estratégica y mitigación de impactos

185

8.1. Estrategias y planes de acción para afrontar los impactos de las líneas eléctricas en la fauna silvestre	186
8.2. Etapas básicas de un plan de acción	188
8.3. Lugares prioritarios y procesos de planificación	192
8.4. Marco jurídico específico y acuerdos con compañías eléctricas	196
8.5. Colaboración intersectorial y participación de los actores interesados	198
8.6. Sensibilización y formación	201
8.7. Integración en la planificación espacial y en las políticas y estrategias generales de conservación	203
8.8. La jerarquía de la mitigación como marco general de conservación de la biodiversidad	208

9. Casos de estudio en Latinoamérica y España

211

9.1. Interacciones entre tendidos eléctricos y fauna silvestre en Argentina	212
9.2. Electroclusiones de la fauna brasileña en redes eléctricas	220
9.3. Electrocción y colisión de aves con el tendido eléctrico en Chile	224
9.4. Protección y construcción, un trabajo en conjunto en Chile	227
9.5. Pérdida de biodiversidad debido a las líneas eléctricas y acciones para abordar el problema en Costa Rica	237
9.6. El impacto de las líneas eléctricas en México	240
9.7. Líneas eléctricas e interacciones con la fauna silvestre en Ecuador	244
9.8. La electrocción en mamíferos trepadores	246
9.9. La historia española de las líneas eléctricas y las aves	250
9.10. El proyecto “Corredores de vuelo”, mapa de sensibilidad de las líneas de transmisión de España	255

Referencias	258
Apéndices	295
Introducción	296
Apéndice A. Electrocutión de aves: diseños peligrosos y seguros y propuesta de medidas preventivas, mitigadoras y correctoras	297
Sección I. Diseños peligrosos y distancias de seguridad	297
Sección II. Tipología, niveles de riesgo y medidas correctoras recomendadas	305
Sección III. Galería de fotos: ejemplos de tipos de poste y medidas antielectrocución	350
Apéndice B. Recomendaciones generales para líneas de nueva construcción	366
Sección I. Recomendaciones para medidas antielectrocución	366
Sección II. Recomendaciones para medidas anticolisión	370
Apéndice C. Líneas eléctricas y fauna arborícola. Prevención y mitigación de impactos en entornos forestales y otros ambientes con fauna trepadora	373
Sección I. Recomendaciones de medidas preventivas para la seguridad de subestaciones y estaciones transformadoras	375
Sección II. Recomendaciones de medidas preventivas para la seguridad de soportes y cables	377

Prólogo

El cambio climático y la pérdida de biodiversidad se han convertido en amenazas críticas para nuestro planeta, intensificando mutuamente sus efectos. Si bien existe un amplio consenso sobre las causas principales —mayormente las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y la deforestación—, las vías para encontrar soluciones también se están comprendiendo mejor.

Aunque el Acuerdo Climático de París estableció el objetivo ambicioso de limitar el calentamiento global a 1,5 °C, ahora se reconoce ampliamente que alcanzar esta meta es cada vez más improbable. No obstante, es fundamental esforzarse por mantenerse lo más cerca posible de este umbral si queremos reducir la gravedad de los efectos del cambio climático y evitar sus consecuencias más catastróficas. Alcanzar emisiones netas de dióxido de carbono cero para mediados de siglo sigue siendo un objetivo esencial. Para ello, es necesario reducir rápidamente las emisiones de CO₂ procedentes de la generación de energía, incluso aunque cientos de millones de personas en todo el mundo sigan sin tener acceso a un suministro eléctrico fiable.

Las energías renovables ofrecen uno de los medios más eficaces y fácilmente disponibles para reducir las emisiones y ampliar el acceso a la energía. Una combinación de generación renovable —principalmente energía eólica y solar fotovoltaica— junto con una mayor electrificación para sustituir el uso de combustibles fósiles, podría aportar hasta tres cuartas partes de las reducciones necesarias en las emisiones relacionadas con la energía. Para garantizar que esta transición sea inclusiva, también será necesario realizar importantes inversiones en infraestructura de transmisión de electricidad, incluida la construcción de nuevas líneas eléctricas para conectar comunidades que históricamente han quedado atrás.

A medida que aceleramos el despliegue de las energías renovables, es fundamental que no repitamos los errores de la era de los combustibles fósiles. Una expansión mal planificada o gestionada de la infraestructura renovable conlleva el riesgo de una mayor pérdida de biodiversidad y de alteración de los servicios ecosistémicos de los que dependen las sociedades y las economías. Por ello, la transición hacia las energías renovables debe llevarse a cabo de tal manera que no solo se evite dañar la biodiversidad, sino que se apoye activamente su conservación. Para hacer realidad este potencial, será necesario el compromiso y la cooperación de los responsables de la toma de decisiones en todas las etapas de la planificación, el desarrollo y la implementación de los proyectos.

Al proporcionar orientación sobre las mejores prácticas en la planificación y gestión de las líneas eléctricas, este manual constituye un recurso fundamental para las empresas eléctricas, los reguladores y otras partes interesadas. Apoya los esfuerzos para garantizar que las redes eléctricas permitan la transición hacia un futuro sostenible y con bajas emisiones de carbono, que proteja, en lugar de socavar, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que nos sustentan a todos.

Rachel Asante-Owusu

COORDINADORA DEL PROGRAMA DE CAMBIO CLIMÁTICO Y TRANSICIÓN ENERGÉTICA, UICN

La actual transición energética supone al mismo tiempo una oportunidad y una prueba. Oportunidad, porque nos permite avanzar hacia un modelo económico necesariamente más limpio, seguro y eficiente. Y nos pone a prueba, porque nos exige que este proceso sea no solo justo socialmente, sino también compatible con la preservación de los ecosistemas y de la biodiversidad que los sustenta.

En este contexto, las líneas eléctricas y concretamente las líneas de transporte son imprescindibles para garantizar el suministro de energía, pilar del progreso y bienestar social, pero también constituyendo un punto de interacción entre el desarrollo humano y la fauna silvestre.

En Redeia entendemos el capital natural como el conjunto de recursos y servicios esenciales que nos ofrece la naturaleza y de los que depende nuestro bienestar. La biodiversidad es el núcleo de ese capital: sostiene la vida en el planeta, garantiza el equilibrio de los ecosistemas y constituye la base de la prosperidad social y económica. Su conservación no es una opción, sino una responsabilidad ineludible para las empresas.

Un porcentaje importante de nuestras infraestructuras eléctricas se ubica en entornos rurales con un alto valor ambiental; también lo estará una parte de las nuevas instalaciones que habrá que desplegar en un futuro inmediato para garantizar la sostenibilidad de los sistemas eléctricos, la integración de la creciente producción renovable y la alimentación de nuevos puntos de consumo.

En esos entornos es indispensable establecer los mecanismos necesarios para asegurar la convivencia entre las redes eléctricas y la vida silvestre, especialmente las aves, preservando su seguridad y el respeto a su hábitat. Ello implica actuar con una visión integral, incluyendo la biodiversidad en la estrategia de la compañía y en su toma de decisiones y teniéndola en consideración a lo largo del ciclo de vida de la instalación, desde la planificación y diseño de los trazados, hasta la operación y mantenimiento de las infraestructuras.

Redeia, como compañía, dispone de un Compromiso con la Biodiversidad aprobado por el Consejo de Administración, que recoge la visión a 2050 del Convenio de Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica: *“Vivir en armonía con la naturaleza”*.

Asimismo, se encuentra alineado tanto con el Compromiso de Sostenibilidad 2030 y nuestra Política Ambiental, lo que asegura su implantación a través de una gestión ambiental adecuada, amparada por estándares nacionales e internacionales.

El Compromiso se desarrolla a través de cinco líneas de actuación que guían todas nuestras decisiones:

- Liderar para ser positivos: considerar la biodiversidad como un factor estratégico, con el objetivo de contribuir a un impacto neto positivo en 2030.
- Gestionar los riesgos y las oportunidades del capital natural y la biodiversidad: medir y evaluar los impactos (tanto negativos como positivos) y dependencias de la biodiversidad.
- Generar un impacto positivo sobre los hábitats y especies: integrar la jerarquía de mitigación —evitar, minimizar, restaurar y compensar— en nuestras instalaciones y actividades para asegurar la preservación y restauración de la biodiversidad en los territorios donde Redeia opera, evitando la implantación de nuevas infraestructuras en las áreas con mayor riqueza natural.
- Impulsar el conocimiento y la acción en biodiversidad: fomentar la transformación, formación y transmisión del conocimiento, así como la divulgación y el fomento de la innovación y la investigación científica, de cara a generar valor social compartido.
- Promover la disminución del impacto de la cadena de suministro en la biodiversidad: fomentar el compromiso de ser positivos en capital natural y biodiversidad en toda la cadena de valor, facilitando la concienciación y las buenas prácticas.

En la interacción entre las líneas eléctricas de alta tensión gestionadas por Redeia y la avifauna, estos principios se traducen en acciones concretas como son la instalación de dispositivos anticollisión, restauración de hábitats asociados a especies focales, reintroducción o recuperación de especies y programas de seguimiento de especies vulnerables.

Además de estas medidas, la herramienta más importante es un exigente proceso de planificación de nuestros proyectos, evitando siempre que es posible, áreas de alto valor ecológico o alta biodiversidad al definir la ubicación de las instalaciones. Cuando la presencia en estos espacios es inevitable, y siguiendo los principios de la jerarquía de la mitigación, minimizamos al máximo las posibles afecciones con medidas preventivas, correctoras y compensatorias para asegurar que, a lo largo del ciclo de vida de la instalación, se mantenga e incluso se incremente la biodiversidad local.

Nuestra labor no se limita a la gestión técnica. La colaboración con administraciones públicas, comunidades locales, centros de investigación y organizaciones ambientales es esencial para lograr soluciones compartidas y eficaces. Creemos firmemente que la protección de la fauna frente a los impactos de las líneas eléctricas requiere de un enfoque de cooperación y transparencia.

El objetivo que nos hemos marcado es ambicioso: generar un impacto neto positivo sobre el capital natural en el entorno de nuestras nuevas instalaciones en 2030. Alcanzarlo implica no solo mitigar los efectos adversos, sino también contribuir de forma activa a la restauración y mejora de los ecosistemas.

El apoyo a esta publicación es una muestra de estos compromisos. Aquí se reúnen conocimientos, experiencias, directrices técnicas y buenas prácticas de varias regiones, que demuestran que es posible compatibilizar el desarrollo de las redes eléctricas con la conservación de la biodiversidad. Este manual se dirige especialmente a América Latina, donde la prevención y mitigación de los impactos de los tendidos eléctricos es de enorme relevancia por el gran valor de su biodiversidad, y en algunos de cuyos países Redeia opera a través de su filial Redinter. Queremos que sea una herramienta útil para profesionales de diferentes empresas, para instituciones competentes y para la ciudadanía, y un impulso para seguir innovando en la búsqueda de soluciones que permitan la coexistencia de redes eléctricas y una naturaleza preservada.

En Redeia, creemos que el verdadero progreso no se mide únicamente en megavatios transportados, sino en el valor natural que preservamos y potenciamos en el territorio. Las infraestructuras que dibujamos en él deben ser puentes y no fronteras hacia un futuro en el que progreso, tecnología y naturaleza convivan en armonía.

Beatriz Corredor

PRESIDENTA DE REDEIA



Resumen ejecutivo

La infraestructura eléctrica, y especialmente las líneas eléctricas, está presente en muchos de nuestros paisajes y es parte integral del desarrollo socioeconómico de nuestras sociedades. Además, el tan necesario despliegue de fuentes de energía renovable para hacer frente al desafío del cambio climático también lleva asociado necesariamente el desarrollo de líneas eléctricas que transporten la electricidad desde esos nuevos puntos de generación. Sin embargo, si las líneas eléctricas, tanto de transmisión como de distribución de la electricidad, no se planifican, diseñan y gestionan adecuadamente, los impactos negativos sobre la naturaleza pueden ser muy significativos, y en concreto pueden causar graves impactos directos sobre determinadas especies de fauna en los ecosistemas que atraviesan.

Figura i.1. Condor andino
(*Vultur gryphus*) sobre
soporte de tendido
eléctrico en Chile.
© Jorge Ramos Aguilar



La presente obra analiza de forma integral las interacciones entre las líneas eléctricas aéreas y la fauna, integrando conocimientos técnicos del sector industrial con enfoques ecológicos y de conservación de la biodiversidad, proporcionando la mejor información disponible. El objetivo es que sea una referencia técnica y científica dirigida a profesionales de los ámbitos eléctrico y energético, ambiental y académico, así como a responsables de la planificación territorial y la gestión de infraestructuras, con especial énfasis en los contextos latinoamericano y español, especialmente en el primero.

El manual se estructura en nueve capítulos y varios apéndices que proporcionan información sólida con base técnica y científica, experiencias prácticas y contrastadas, y directrices y recomendaciones para comprender, evaluar, prevenir y mitigar los impactos de las líneas eléctricas sobre la biodiversidad, enfocándose en la problemática de la electrocución y colisión:

El **Capítulo 1** establece el marco conceptual, situando el desarrollo de las infraestructuras eléctricas en un contexto global y regional, para Latinoamérica. Se examinan las tendencias actuales de expansión de estas infraestructuras y su relación con los procesos de transformación del territorio, destacando los principales desafíos para la integración de criterios de conservación en la planificación energética y despliegue de proyectos.

El **Capítulo 2** desarrolla los fundamentos técnicos del sistema eléctrico, abordando los procesos de producción y transporte de energía, y describiendo la estructura y principales componentes de las líneas eléctricas, ofreciendo conceptos y terminología básicos. Este capítulo proporciona la base técnica necesaria para comprender cómo las características de diseño, configuración y operación de las líneas condicionan sus interacciones con el medio natural.

El **Capítulo 3** analiza de manera general los impactos de las líneas eléctricas sobre la naturaleza. Se describen los efectos sobre el paisaje y la estructura de los hábitats donde se implantan, así como las principales formas de contaminación con las que se relacionan. Entre ellos se presta una especial atención a las interacciones entre las líneas eléctricas y la fauna, incluyendo tanto efectos potencialmente positivos como los impactos negativos, además de las consecuencias de esas interacciones sobre la funcionalidad y seguridad del suministro eléctrico.

El **Capítulo 4** se centra en la electrocución de fauna como uno de los impactos más relevantes asociados a las líneas eléctricas. Se analizan los factores de riesgo y grupos de especies más vulnerables, considerando la configuración de los postes eléctricos, las características de las especies y los condicionantes ambientales. El énfasis del análisis se sitúa especialmente en las aves, como principal grupo afectado, tratando también la afectación sobre otros grupos faunísticos como los de hábitos arborícolas, muy relevante en ciertos países de la región latinoamericana. Se ofrecen además claves para identificar las estructuras de postes que suponen más peligro para esa fauna y las zonas de alta incidencia de mortalidad, los puntos críticos, evaluando las distintas medidas antielectrocución disponibles para prevenir y corregir el impacto, su eficacia y los criterios para su selección e implementación.

El **Capítulo 5** aborda por su parte el fenómeno de la colisión de aves con líneas eléctricas, analizando de la misma manera los factores estructurales de las líneas, los biológicos y ambientales que influyen en el riesgo, caracterizando los grupos de especies más vulnerables. Se dan pautas para identificar los tramos de líneas que pueden ser especialmente peligrosos, describiéndose las medidas anticolidión existentes y evaluándose su eficacia, incluyendo los avances recientes en tecnologías de señalización y monitoreo.

El **Capítulo 6** está dedicado al diagnóstico y la evaluación de las lesiones en los individuos impactados y la mortalidad atribuibles a las líneas eléctricas. Se presentan criterios para la identificación de señales de electrocución y colisión en los animales y metodología para la determinación de la causa de muerte, destacando el papel de los laboratorios de referencia en la validación de los diagnósticos.

En el **Capítulo 7** se presentan recomendaciones para los procedimientos y protocolos de recogida, análisis y gestión de los datos necesarios para el monitoreo y la evaluación de los impactos de la electrocución y colisión sobre la fauna, incluyendo la estimación de la mortalidad real y la creación de bases de datos y productos cartográficos, subrayando la importancia de la sistematización de esos protocolos y de la difusión y disponibilidad de la información. En las diferentes secciones se describen también las fuentes de información disponibles más destacables, pautas para la identificación de especies y áreas prioritarias, y para la elaboración de mapas de sensibilidad y riesgo, así como para la priorización de líneas donde realizar actuaciones de adecuación.

El **Capítulo 8** presenta un enfoque estratégico para la integración de la conservación de la biodiversidad en el desarrollo, la gestión y la operatividad de las líneas eléctricas, tanto las existentes como las de nueva construcción, con la aplicación de la jerarquía de la mitigación como principio rector. Propone bases para la elaboración de planes de acción que prevengan o mitiguen los impactos, con soluciones específicas desde una perspectiva global, regional y local. También se abordan y se dan directrices para los procesos adecuados de planificación espacial, sugiriendo condiciones propicias como marcos jurídicos específicos y mecanismos de colaboración intersectorial y entre las compañías eléctricas y los gobiernos y otros actores clave. Asimismo, se destaca la importancia de la participación de las partes interesadas en todo ello y de la sensibilización y la formación técnica.

El **Capítulo 9** recopila experiencias a través de estudios de caso en América Latina y España, los cuales ilustran, en contextos ecológicos, normativos, sociales o tecnológicos diversos, las interacciones entre líneas eléctricas y fauna silvestre. Estos casos permiten analizar experiencias prácticas, evaluar diferentes enfoques, medidas y soluciones técnicas adoptados y extraer lecciones aplicables a otros territorios.

Finalmente, los apéndices aportan información técnica detallada que complementa esos contenidos. El **Apéndice A** aborda en profundidad la peligrosidad de los diseños respecto a su potencial de provocar electrocución, las tipologías de diseños seguros y peligrosos para la fauna, y ofrece recomendaciones y ejemplos de medidas preventivas y correctoras para una gran variedad de postes, con material gráfico de apoyo. El **Apéndice B** presenta una serie de recomendaciones genéricas para las medidas antielectrocución y anticollisión en líneas de nueva construcción. El

Apéndice C se centra en medidas para reducir las interacciones negativas con especies trepadoras, de hábitos arborícolas, y aumentar la seguridad de las líneas en los entornos donde se encuentran.

Este manual pretende servir, en definitiva, como herramienta integral para conocer, identificar, evaluar, prevenir y mitigar los impactos de las líneas eléctricas sobre la fauna, promoviendo infraestructuras compatibles con la conservación de la biodiversidad y ayudando a las compañías eléctricas a implementar compromisos de sostenibilidad y a perseguir ganancias netas de biodiversidad dentro y alrededor de sus operaciones. Es parte de una serie de publicaciones desarrolladas por la UICN sobre las soluciones a diferentes desafíos que el desarrollo del sector energético plantea para la conservación de la naturaleza.



Figura i.2. Las líneas eléctricas son un elemento común en los paisajes de muchas regiones del mundo, cada vez más, impulsadas por la descarbonización y progresiva electrificación de la economía. Línea eléctrica en Brasil asociada a un parque eólico. © Álvaro Camiña

Acerca de este manual

Como parte de su enfoque programático para ayudar a sectores clave de la industria a incorporar la naturaleza en sus decisiones, a maximizar los impactos positivos en el medio ambiente y sobre la biodiversidad, y a reducir los negativos, la UICN ha venido elaborando en los últimos años una serie de directrices técnicas, entre otras herramientas, sobre temas relacionados con las infraestructuras energéticas y eléctricas y la minimización y prevención de los impactos sobre la naturaleza. La presente publicación es una adaptación al español, principalmente para el contexto latinoamericano, del documento *Wildlife and power lines. Guidelines for preventing and mitigating wildlife mortality associated with electricity distribution networks* (Martín Martín et al., 2022), el cual a su vez se desarrolló a partir del manual en francés *Les oiseaux et les réseaux électriques en Afrique du Nord. Guide pratique pour l'identification et la prévention des lignes électriques dangereuses* (Martín Martín et al., 2019).

Contexto

La **línea de trabajo sobre líneas eléctricas y biodiversidad** ha sido desarrollada especialmente desde el Centro de Cooperación del Mediterráneo de la UICN (UICN Med), que viene implementando y participando en diversas iniciativas para la conservación de aves rapaces y otras migratorias en la región mediterránea, involucrando a actores clave de todos los sectores en la solución de una de sus principales amenazas, la colisión y electrocución con las líneas eléctricas. En los últimos diez años, gracias a la **colaboración entre UICN Med con el Gobierno regional de Andalucía (España)** se ha trabajado principalmente en el norte de África en la sensibilización y capacitación sobre el tema, así como en el fomento de la cooperación, todo ello para promover una coexistencia adecuada entre líneas eléctricas y biodiversidad. Junto con los gobiernos nacionales, se han organizado varios cursos de formación específicos para las partes interesadas (autoridades gubernamentales competentes, compañías eléctricas y ONG) sobre la identificación y mitigación del impacto de la infraestructura eléctrica en la avifauna y además se han organizado trabajos de campo para el monitoreo de líneas y de las poblaciones de aves, identificando en algunos casos importantes puntos de mortalidad por electrocución (ver por ejemplo Godino et al., 2016).

La UICN cuenta además con un **Programa Global de Cambio Climático y Transición Energética Justa**, en el que se enmarcan esas iniciativas. El Programa trabaja para conciliar el desarrollo de las energías renovables y otras infraestructuras energéticas con la conservación de la naturaleza, elaborando y promoviendo la aplicación de directrices y herramientas para mitigar los impactos del desarrollo de renovables, especialmente la energía eólica y solar, y su infraestructura asociada, sobre la naturaleza. Entre los materiales se incluyen directrices y recomendaciones para la planificación de proyectos, mitigando los impactos y maximizando beneficios a la biodiversidad, la elección adecuada de ubicación, la evaluación de los impactos acumulativos o la gestión responsable de la cadena de suministro de los componentes¹. El Programa también se centra en los retos más amplios de la transición hacia sistemas energéticos sostenibles y la promoción de energías renovables con impacto neto positivo para la naturaleza.

En el contexto actual de crisis climática es más clara que nunca la necesidad de **desarrollo de fuentes de energía renovables**, lo cual conlleva no solo la construcción de nuevas plantas (eólicas, fotovoltaicas, etc.) sino la ampliación de la red de transmisión y distribución de la electricidad, la cual se suma a las líneas eléctricas ya existentes. Para asegurar que estas infraestructuras, existentes y futuras, no se realizan y operan a costa del medio ambiente donde se localizan, es necesario el establecimiento e implementación de criterios técnicos, tanto en términos de la identificación de elementos que hacen que las infraestructuras energéticas puedan ser dañinas para las especies y los hábitats, como en lo que respecta a la promoción de mejores prácticas para evitar y minimizar impactos. La UICN trabaja en ello desde una perspectiva global y multiinstitucional, fortaleciendo la cooperación y el diálogo entre las partes interesadas y desarrollando nuevas **orientaciones y herramientas** para la industria, con el apoyo de la sociedad civil y los reguladores del sector. Este manual es una de esas herramientas.

¹ Adicionalmente a las directrices publicadas por UICN incluidas en Referencias, también se han desarrollado: Bennun, L., van Bochove, J., Ng, C., Fletcher, C., Wilson, D., Phair, N., Carbone, G. (2021). *Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development. Guidelines for project developers*. Gland, Suiza: UICN y Cambridge, Reino Unido: The Biodiversity Consultancy. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.04.en> Jobson, B., Cook, A., Fletcher, C., Bennun, L., Murrell, L., Asante-Owusu, R. y Liu, Q. (2025). *Oportunidades para mejorar la biodiversidad en los proyectos de desarrollo de energía eólica y solar*. Gland, Suiza: UICN y Cambridge, Reino Unido: The Biodiversity Consultancy. <https://portals.iucn.org/library/node/52551>

Alcance y objetivos

Este manual tiene como objetivo proporcionar la mejor información disponible para una toma de decisiones adecuada y eficaz en la planificación, diseño y gestión de líneas eléctricas aéreas, reduciendo los impactos negativos que pueden producir las mismas por electrocución o colisión principalmente, sobre las especies de fauna más vulnerables que habitan los paisajes donde se implantan. Se enfoca en los impactos característicos producidos por líneas de transmisión o distribución eléctrica, que son fundamentalmente pérdidas de ejemplares de fauna por colisión y electrocución. El propósito principal es difundir información sobre las medidas más efectivas de prevención, corrección y de mitigación de esos impactos, que deberían implementarse como parte de las estrategias de conservación y los procesos de planificación en todos los niveles, desde el internacional hasta el local.

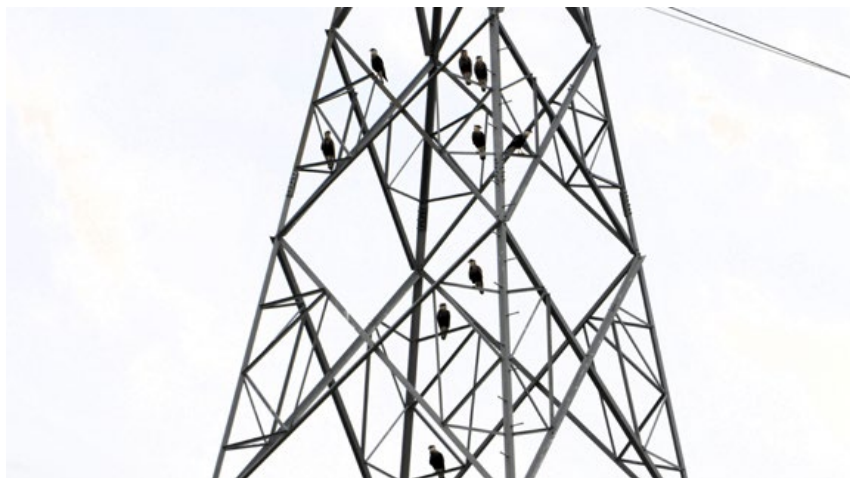


Figura i.3. Este documento proporciona información sobre las medidas preventivas, de mitigación y de adecuación o correctoras más efectivas para reducir al mínimo las interacciones negativas entre la vida silvestre y las líneas eléctricas. Poste eléctrico y caranchos (*Caracara plancus*) en Uruguay. © Pablo G. Fernández Santiago

El manual ofrece una visión general del problema, sus causas y sus consecuencias, y analiza los diversos enfoques para abordarlo, con el objetivo de promover la concienciación y la prevención y buscar soluciones siempre que sea posible. Está

dirigido a todas las partes involucradas en la generación, transporte y distribución de electricidad y en la conservación de la biodiversidad: promotores, financiadores, autoridades de planificación, compañías eléctricas y energéticas u organizaciones conservacionistas. El texto incluye directrices para identificar y monitorear líneas eléctricas existentes con efectos adversos para la fauna y sugiere cómo deberían modificarse para que sean seguras. También proporciona recomendaciones para la implantación de nueva infraestructura eléctrica segura desde su creación, evitando daños y pérdida de biodiversidad mediante la planificación temprana y la identificación de áreas potencialmente problemáticas mediante herramientas de mapeo de riesgos y cartografía de zonas sensibles.

Los contenidos y el enfoque de esta obra están dirigidos principalmente a los países de Latinoamérica, de ahí la elección del idioma español, como el más extendido, para su publicación. La mayor parte de las fuentes de información en ese idioma sobre esta temática proceden de España, donde no solo la situación es muy diferente en cuanto al conocimiento del problema, sino que además hay importantes diferencias respecto a las características de los sistemas de transmisión y distribución eléctrica y la legislación aplicable, además de la utilización de tecnicismos diferentes para denominar los mismos elementos. En este sentido, se ha hecho un importante esfuerzo para adaptar los contenidos de las fuentes, tanto en español como en otros idiomas, al ámbito geográfico principal al que está dirigido el manual.

Por otro lado, dada la escasa disponibilidad de información para Latinoamérica, ciertos casos y ejemplos se ilustran con imágenes procedentes en su mayor parte de España. El motivo es doble; España es uno de los países del mundo que más ha avanzado en cuanto a la implementación de soluciones técnicas y legislativas para esta problemática, de manera que es una referencia ineludible. Teniendo en cuenta que la mayor parte de la información que se incluye es de tipo genérico, **el manual puede ser también de interés para el público español.**

El objetivo no es simplemente **crear conciencia sobre las posibles interacciones entre la vida silvestre y las líneas eléctricas**, sino también **recopilar y difundir información sobre las medidas más efectivas** en el contexto latinoamericano, en particular medidas preventivas, que deberían implementarse como parte de estrategias de conservación a nivel regional, nacional o local. En otras palabras, esperamos poner a disposición la mejor información disponible sobre cómo diseñar líneas eléctricas que coexistan en armonía con las especies animales que se encuentran en los ecosistemas que cruzan y garantizar su impacto mínimo sobre ellas.



Figura i.4. Con la implantación de las medidas adecuadas, las líneas eléctricas pueden coexistir con las especies que habitan los ecosistemas que atraviesan minimizando sus impactos. Tendido eléctrico con un diseño de riesgo para ciertas especies (Perú). © Giuliana Atalaya

Los ejemplos aquí reunidos muestran que, como en España, en todos aquellos países del continente americano donde se ha trabajado en el tema, las líneas eléctricas causan un gran número de víctimas entre diversas especies de aves y algunos mamíferos, y su adaptación para evitarlo marca un punto de inflexión en la recuperación de las poblaciones afectadas.

En los capítulos se incluyen descripciones de líneas eléctricas que pueden resultar peligrosas para la fauna por su potencial para causar electrocuciones o colisiones y recomendaciones para evitar o mitigar esos impactos, aportadas por destacados expertos internacionales. Por primera vez, esta información se combina con una evaluación sistemática realizada por expertos locales de la situación actual sobre el terreno en Latinoamérica, a través de estudios de casos (capítulo 9). Compartir de esta manera experiencias positivas y negativas tiene como objetivo iniciar un foro en el que las partes interesadas puedan evaluar continuamente la situación e intercambiar conocimientos y experiencias.

Otro objetivo es **proporcionar pautas para identificar y monitorear líneas eléctricas peligrosas existentes y sugerir cómo modificarlas para que sean seguras para la vida silvestre**, asegurando también la operatividad de las líneas y la estabilidad del suministro eléctrico. Así, esta guía puede utilizarse para evaluar

la peligrosidad de cada tipo y ayudar a decidir cuál elegir o rechazar. Aunque el foco principal son las aves, también se incluye una evaluación de los riesgos de las líneas eléctricas para otros grupos de fauna, especialmente primates y otros mamíferos, y cómo eliminarlos o al menos mitigarlos. Este estudio de las líneas eléctricas tiene un enfoque amplio, intentando incluir la mayoría de los diseños de líneas y soportes existentes en el continente. Sin embargo, es muy posible que, a pesar del esfuerzo de recopilación, se hayan pasado por alto algunos tipos. Esperamos que la amplia variedad de tipologías y opciones presentadas hará que sea relativamente sencillo caracterizar otros tipos aquí no presentados, junto con los riesgos que plantean y las medidas preventivas o correctoras más adecuadas. Esperamos igualmente poder seguir recopilando información y avances, que pueden ser integrados en próximas ediciones de esta publicación.



Figura i.5. Este manual tiene entre sus objetivos servir de herramienta para la caracterización y evaluación de la peligrosidad de los diferentes tipos de líneas eléctricas más frecuentes en Latinoamérica. Línea eléctrica en Uruguay. © Pablo García Fernández

Se proporcionan así mismo **pautas para el desarrollo de nueva infraestructura eléctrica segura, evitando al máximo potenciales daños y pérdida de biodiversidad mediante la planificación temprana**, apoyada en herramientas de mapeo de sensibilidad que permiten identificar las áreas problemáticas. Estas herramientas posibilitan desarrollar estrategias de prevención o mitigación cohesivas a nivel regional para aumentar la efectividad de las medidas, pudiendo usarse para identificar las áreas más sensibles donde se debe evitar construir infraestructuras o al menos asegurar que no sean peligrosas para las especies que pudieran verse más afectadas, o para priorizar áreas donde realizar trabajos de mitigación de impactos. En consecuencia, los gobiernos y las compañías eléctricas pueden utilizar esta guía para apoyar sus evaluaciones de impacto ambiental (EIA) de líneas eléctricas, para determinar áreas donde se podrían esperar posibles colisiones y electrocuciones y se deberían implementar medidas para evitarlo.

En resumen, este manual técnico ha buscado recopilar la información existente en el continente sobre las líneas eléctricas y sobre el impacto real o potencial en la vida silvestre para que las partes interesadas puedan implementar las mejores medidas conocidas actualmente destinadas a prevenir o disminuir la mortalidad animal directa y a minimizar esos impactos en la biodiversidad. Así las líneas eléctricas pueden cumplir su función de suministrar electricidad como parte de un sistema de energía limpia y renovable, asegurando a la vez su convivencia con la fauna de las zonas que recorren y ayudando a generar resultados positivos tanto para las personas como para la naturaleza.

Público objetivo

Considerando el efecto global de las líneas eléctricas como una de las causas principales de mortalidad no natural para ciertas especies de aves y otros grupos, como mamíferos arborícolas, y la limitación de información sobre el tema en gran parte de Latinoamérica, esta guía está destinada principalmente a los **actores clave de la región involucrados en la producción, transmisión y distribución de electricidad, y en la conservación de la biodiversidad, tanto a nivel de planificación estratégica como de proyectos**: autoridades gubernamentales de planificación y gestión, compañías eléctricas, organismos financiadores o desarrolladores de proyectos.



Figura i.6. La formación especializada de los técnicos y responsables es imprescindible para valorar el problema de las líneas eléctricas y la fauna y abordar la implementación de soluciones eficaces. Taller de formación organizado por UICN Med en Marruecos. © Justo Martín

A nivel de planificación estratégica del desarrollo de infraestructura de distribución y transmisión de electricidad (también teniéndola en cuenta como infraestructura accesoria al despliegue de energías renovables), este manual se dirige a los planificadores gubernamentales responsables, a la escala estratégica correspondiente (por ejemplo, nacional, regional o sectorial).

A nivel de proyectos concretos de desarrollo de líneas eléctricas, el enfoque del manual también será útil para los promotores y gestores de los mismos.

Lo ideal es que una planificación estratégica adecuada, que haya incorporado en el análisis elementos para minimizar los impactos del desarrollo de infraestructuras, incluidos los impactos acumulativos que pueden producirse por la suma de varios proyectos, dirigida generalmente por los gobiernos nacionales, proporcione el marco para la toma de decisiones a nivel de proyecto por parte de los promotores, los financiadores y las autoridades competentes en materia de concesión de permisos.

Otros actores más amplios pueden encontrar utilidad y aplicabilidad de este contenido, como consultoras o instituciones de investigación y educación que trabajen en el tema y organizaciones conservacionistas y la sociedad civil en general, quienes pueden encontrar en este manual una herramienta útil para conocer la problemática y las posibles soluciones existentes.



Figura i.7. Necesitamos mejorar nuestro conocimiento sobre los impactos de las líneas eléctricas en la fauna. En el caso de las nuevas líneas, la fase de planificación es fundamental para minimizar los impactos sobre la biodiversidad y garantizar su sostenibilidad. Línea eléctrica en Uruguay. © Pedro G. Fernández

Mensajes clave

- Cuando las líneas eléctricas no están adecuadamente planificadas, diseñadas y/o gestionadas pueden presentar importantes desafíos para el medio ambiente, provocando modificación y degradación del hábitat o alteración de la conectividad del paisaje y pérdida de la biodiversidad, representando una amenaza para determinadas especies sensibles.
- Los impactos directos más relevantes sobre la fauna son los de la electrocución, que se produce sobre todo en los postes de las líneas de media tensión, correspondientes en su mayor parte a las líneas de distribución, y la colisión con los cables de las líneas de transmisión o distribución, aunque suele ser más frecuente

en las líneas de alta y muy alta tensión, correspondientes en su mayoría a las redes de transmisión. Para ambos tipos existen medidas preventivas, correctoras o mitigadoras que pueden reducir o eliminar los efectos de los impactos.

- ➔ Necesitamos mejorar nuestro conocimiento sobre los impactos de las líneas eléctricas en la vida silvestre y dedicar esfuerzos sustanciales a identificar los puntos críticos de alta mortalidad existentes y hacerlos seguros para la fauna.
- ➔ En el caso de nuevas líneas eléctricas, la fase de planificación es crítica para minimizar los impactos sobre la biodiversidad y asegurar su sostenibilidad. Se debe evitar la instalación en áreas sensibles como rutas migratorias o áreas donde se encuentran especies amenazadas. Si esto no es posible, los trazados y diseños de las nuevas líneas deben evaluarse cuidadosamente para garantizar un impacto mínimo.
- ➔ La selección e implementación de acciones para evitar o minimizar impactos debe ser parte inherente de la actividad de las empresas eléctricas, y debería involucrar a expertos científicos y conservacionistas que conozcan los grupos faunísticos potencialmente afectados. Para garantizar el éxito, es fundamental contar con el apoyo y la colaboración de todos los actores (empresas, gobiernos, sociedad civil), de forma que se pueda realizar un trabajo que resuelva los problemas en el terreno.
- ➔ El problema y sus soluciones obedecen a los mismos principios en todas partes, pero las medidas de mitigación deben apuntar específicamente a las especies que son más sensibles y sufren los mayores impactos a nivel local; así, una medida puede ser necesaria y efectiva en un lugar, pero completamente inútil en otro. Además, se deben tener en cuenta las posibilidades técnicas y económicas de cada ubicación para aprovechar al máximo los recursos y esfuerzos disponibles.



Figura i.8. Las medidas de mitigación deben dirigirse específicamente a las especies que son más sensibles y sufren los mayores impactos a nivel local. Águila mora (*Geranoaetus melanoleucus*) sobre poste de electricidad en Argentina.
© CECARA

Colaboradores

EDITORES

Justo Martín Martín
José Rafael Garrido López
Helena Clavero Sousa

AUTORES

PRÓLOGO

Rachel Asante-Owusu
Beatriz Corredor

CAPÍTULOS

CAPÍTULO 1

José Rafael Garrido López
Justo Martín Martín
Helena Clavero Sousa

CAPÍTULO 2

Justo Martín Martín
José Rafael Garrido López
Helena Clavero Sousa

CAPÍTULO 3

Justo Martín Martín
Lourens Leeuwener
Gareth Tate

CAPÍTULO 4

Justo Martín Martín
Miguel Ferrer
Miguel Marco Mommens
Ernesto Álvarez
Virginia Morandini

CAPÍTULO 5

Justo Martín Martín
James F. Dwyer
Richard E. Harness

CAPÍTULO 6

Irene Zorrilla
Íñigo Fajardo
Justo Martín Martín

CAPÍTULO 7

Justo Martín Martín
José Rafael Garrido López
Helena Clavero Sousa

CAPÍTULO 8

Justo Martín Martín
José Rafael Garrido López
Helena Clavero Sousa

CAPÍTULO 9

CASO 1

José Hernán Sarasola
Beatriz Martínez-Miranzo
Diego Gallego-García

CASO 2

Larissa D. Biasotto
Andreas Kindel

CASO 3

Francisco Santander

CASO 4

Carolina Donoso

CASO 5

Shirley Ramírez
Karina Rodríguez
Grettel Delgadillo
Luis Rolier Lara
Angie Sánchez

CASO 6

Patricia Manzano Fischer

CASO 7

Abel Antonio Gallo Pérez

CASO 8

James F. Dwyer
Larissa D. Biasotto
Richard E. Harness

CASO 9

Miguel Ferrer
Juan José Iglesias Lebrija
Ernesto Álvarez
Virginia Morandini

CASO 10

Marta García
Mónica Oleo
Ángel Salinas

APÉNDICES

APÉNDICE A

Justo Martín Martín
José Rafael Garrido López

APÉNDICE B

Justo Martín Martín
José Rafael Garrido López

APÉNDICE C

Luis Rolier Lara
Karina Rodríguez
Shirley Ramírez
Luis Carballo
Dinnia Ramírez
Angie Sánchez

Nombre	Afiliación
Abel Antonio Gallo Pérez	GPS GROUP, Ecuador
Andreas Kindel	Núcleo de Ecología de Carreteras y Ferrocarriles, Departamento de Ecología y Programa de Posgrado en Ecología, Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil
Ángel Salinas	Departamento de Gestión Sostenible, Redeia, España
Angie Sánchez	Grupo Técnico de Electrificación Sostenible, Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Costa Rica
Beatriz Corredor	Presidenta de Redeia, España
Beatriz Martínez-Miranzo	Centro para el Estudio y Conservación de las Aves Rapaces en Argentina (CECARA), Argentina ENARA E.A. S.L., España
Carolina Donoso	Área de Medio Ambiente, Servidumbres y Permisología, Redinter Chile
Diego Gallego-García	Centro para el Estudio y Conservación de las Aves Rapaces en Argentina (CECARA), Argentina Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina
Dinnia Ramírez	Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), Costa Rica
Ernesto Álvarez	Grupo de Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat (GREFA), España
Francisco Santander	Proyecto Aves y Tendido Eléctrico, AvesChile, Chile Laboratorio de Ecología de Vida Silvestre, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile Geobiota Consultores, Chile
Gareth Tate	Wildlife & Infrastructure Unit, The Endangered Wildlife Trust (EWT), Sudáfrica
Grettel Delgadillo	Grupo Técnico de Electrificación Sostenible, Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Costa Rica
Helena Clavero Sousa	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza – Centro de Cooperación del Mediterráneo (UICN Med), España
Irene Zorrilla	Centro de Análisis y Diagnóstico de la Fauna Silvestre de Andalucía (CAD), Agencia de Medio Ambiente y Agua, Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente (CSMA), Junta de Andalucía, España
Iñigo Fajardo	Servicio de Geodiversidad y Biodiversidad, Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente (CSMA), Junta de Andalucía, España

Nombre	Afiliación
James F. Dwyer	EDM International, Inc., EE. UU.
José Hernán Sarasola	Centro para el Estudio y Conservación de las Aves Rapaces en Argentina (CECARA), Argentina Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina
José Rafael Garrido López	Agencia de Medio Ambiente y Agua, Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente (CSMA), Junta de Andalucía, España
Juan José Iglesias Lebrija	Grupo de Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat (GREFA), España
Justo Martín Martín	JMM Consultant, consultor independiente en biodiversidad, España
Karina Rodríguez	Grupo Técnico de Electrificación Sostenible, Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Costa Rica
Larissa D. Biasotto	BirdLife International, Reino Unido
Lourens Leeuwener	Wildlife & Infrastructure Unit, The Endangered Wildlife Trust (EWT), Sudáfrica
Luis Carballo	Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), Costa Rica
Luis Rolier Lara	Grupo Técnico de Electrificación Sostenible, Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Costa Rica
Marta García	Departamento de Medio Ambiente, Red Eléctrica de España
Miguel Ferrer	Estación Biológica de Doñana- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EBD-CSIC), España
Miguel Marco Mommens	Grupo de Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat (GREFA), España
Mónica Oleo	Departamento de Gestión Sostenible, Redeia, España
Patricia Manzano Fischer	Agrupación Dodo A. C., México
Rachel Asante-Owusu	Programa de Cambio climático y transición energética, UICN, Suiza
Richard E. Harness	EDM International, Inc., EE. UU.
Shirley Ramírez	Grupo Técnico de Electrificación Sostenible, Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Costa Rica
Virginia Morandini	Estación Biológica de Doñana- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EBD-CSIC), España

Agradecimientos

La elaboración y publicación de esta guía requirió la participación de un gran número de personas que aportaron sus conocimientos, experiencia y materiales. Como editores, queremos agradecerles su colaboración y dedicación.

En primer lugar, nos gustaría agradecer a los autores de los capítulos, estudios de casos y apéndices por su gran interés y trabajo. También nos gustaría agradecer a Patricia Manzano Fischer (Agrupación Dodo A. C., México), Juan José Iglesias Lebrija (GREFA, España) y Carolina Donoso (Redinter Chile), que hicieron comentarios relevantes y constructivos, mejorando enormemente la versión final de este documento a través de una revisión por pares, así como a Tamara Montalvo Rueda por la revisión final y corrección del manuscrito. Además, estamos muy agradecidos al Consejo Editorial de la UICN por su asistencia en la publicación. También agradecemos a los fotógrafos que generosamente han proporcionado sus imágenes para utilizarlas en este manual. Queremos mencionar de manera especial el apoyo continuo por parte de la asociación Wildlife-Lab, así como la indispensable contribución y colaboración de la Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España, para los avances y nuestros resultados en este tema.

Extendemos nuestro agradecimiento a todas aquellas personas que contribuyeron a las versiones previas francesa e inglesa de este manual, documentos en los que se basa esta publicación, tanto a los autores y autoras como a quienes proporcionaron información, sugerencias y materiales para desarrollarlos, numerosas personas comprometidas con este trabajo, cuya lista sería demasiado larga para poder incluir a todo el mundo.

Finalmente, nos gustaría expresar nuestro profundo agradecimiento a Redeia, cuya financiación hizo posible esta publicación.

Glosario

Las definiciones aquí presentadas tienen por objeto aclarar la terminología técnica utilizada en esta publicación, según los términos más usados en el sector. No se trata de una lista exhaustiva de términos existentes. Se han incluido los de uso más frecuente en Latinoamérica, aunque en ciertos casos hay variaciones también entre los diferentes países, incluyendo también ciertos términos de uso más frecuente en España.

abrazadera de anclaje (AMPACT)

abrazadera metálica de cuña utilizada para conectar los conductores en un puente

adecuación modificación de una estructura eléctrica existente para hacerla segura para las aves u otros animales (se habla, por ejemplo, de medida de adecuación)

adulto ave que ha adquirido su plumaje definitivo

aislador material no conductor diseñado para sostener físicamente un conductor y separarlo eléctricamente de otro conductor u objeto; en las líneas eléctricas, impide el paso de la electricidad de los conductores al poste u otras estructuras. Normalmente

están hechos de porcelana o vidrio, constituidos por una sola pieza o por varias piezas unidas formando una **cadena de aisladores** (ver aisladores poliméricos).

aislador de pin, rígido, de espiga o tipo alfiler aislador instalado en posición rígida o erguida en la cruceta

aislador de suspensión o suspendido aislador colgante por debajo de la cruceta

aislador de tensión, amarre, anclaje, retenida o retención aislador fijado a la cruceta en posición horizontal, que sostiene el conductor y soporta la tensión mecánica de la línea

aisladores poliméricos aisladores formados por un núcleo central no conductor de vidrio recubierto por silicona u otro material polimérico que cumplen la misma función que las cadenas de aisladores de vidrio o porcelana, siendo más fáciles de manejar por su menor peso relativo. Estos aisladores pueden tener un diseño especial para evitar o al menos dificultar que las aves se posen sobre ellos o ir acompañados de estructuras específicas para esa función.

alta tensión tensión de 36 a 132 kV (según la Norma Internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional - IEC 60038), aunque estos valores pueden variar según el país.

AMPACT ver abrazadera de anclaje

amperio unidad de medida de la intensidad de la corriente eléctrica

anillo corona, anticorona o equipotencial aro metálico colocado alrededor de un aislador que previene que se inicie o reduce el efecto corona

apoyo ver poste

apartarrayos dispositivo de protección eléctrica que desvía la energía de los rayos a tierra. En España se utilizan las denominaciones autoválvulas y pararrayos.

arco eléctrico corriente eléctrica que pasa entre dos conductores a través de un medio no conductor, como el aire, cuando la diferencia de potencial eléctrico entre los conductores excede un valor determinado

autoválvulas ver apartarrayos

baja tensión ≤ 1 kV según IEC 60038

bocina de arco ver cuerno de arco

borne en cualquier dispositivo eléctrico, terminal de conexión eléctrica donde se fija el cable que aporta la corriente

botella terminal terminación de exterior montada en la cabeza del cable de media tensión que emerge por el poste, la cual sella el extremo del cable y controla el campo eléctrico/ distancia de fuga para permitir su conexión segura a la red aérea

cable de guarda, de guardia o cable guía cable (o cables) conductores sin tensión que se sitúan en las líneas de alta y muy alta tensión por encima de las fases, conectados a tierra en cada uno de los soportes de las torres. Protegen a la línea eléctrica de las descargas de los rayos. En España se suele emplear más la denominación de cable de tierra.

cable de tierra en general, conductor que realiza una conexión eléctrica con la tierra y por lo tanto está a potencial de tierra (ver cable de guarda y puesta a tierra)

cable puente, jumper o puente eléctrico conductor utilizado para conectar diferentes tipos de equipos eléctricos y asegurar la continuidad de los conductores eléctricos donde la línea cambia de dirección (por ejemplo, en postes de ángulo, postes muertos, etc.)

caja de empalme estructura de conexión donde un cable aéreo sin aislamiento se conecta al conductor aislado a tierra, como ocurre en transformadores

campo electromagnético región del espacio que se forma alrededor de un conductor por el que circula una corriente eléctrica, en la cual el movimiento de las cargas genera un campo magnético y, si la corriente varía en el tiempo, también un campo eléctrico asociado

catenaria curva formada por el cable entre dos postes

chorro fecal chorro de excremento producido por las aves al defecar. En las aves los excrementos son una mezcla de heces sólidas y uratos (sustancia blanquecina pastosa compuesta por sales de ácido úrico), forma en la que eliminan los productos de desecho nitrogenados.

circuito conductor o sistema de conductores por los cuales fluye una corriente eléctrica que constituye una ruta independiente. El circuito se energiza a un voltaje especificado.

circuito múltiple aplicado a las líneas eléctricas, configuración que soporta más de un circuito

claro distancia entre torres o postes sucesivos

conductividad capacidad para transmitir energía eléctrica

conductor cable o alambre que transporta corriente eléctrica, normalmente hecho de cobre o aluminio

conductor de tierra ver puesta a tierra

conductor neutro conductor o cable que está a potencial de tierra, es decir, conductor puesto a tierra

conector terminal ver botella terminal

configuración disposición de partes o equipos. Una configuración de distribución incluye la disposición necesaria de crucetas, refuerzos, aisladores, etc., para soportar uno o más circuitos eléctricos.

corrección ver adecuación (se habla normalmente de poste corregido o medida correctora o correctiva)

corriente eléctrica movimiento o flujo de electricidad a través de un conductor. Se mide en amperios.

cortacircuitos fusibles interruptores eléctricos equipados con un fusible, de modo que el interruptor se abre cuando se excede la corriente nominal del fusible. Se utilizan para proteger equipos y circuitos eléctricos contra descargas atmosféricas y cortocircuitos causados por cables, viento, animales o cualquier equipo conductivo.

cruceta parte superior de un poste o torre utilizada para soportar conductores eléctricos y equipos de distribución de energía eléctrica. Puede ser de madera, fibra de vidrio, concreto (hormigón) o acero y tener distintas configuraciones y longitudes.

cruceta auxiliar en postes provistos de equipamiento o en postes de derivación, estructura que soporta otros elementos diferentes a los aisladores y conductores de la línea principal (seccionadores, cortafusibles, etc.), normalmente en un nivel inferior; también llamada **subcruceta**

cuerno de arco, de arqueo o de descarga dispositivo que protege la red de sobretensiones, consistente en un par de electrodos metálicos, uno conectado a la línea y otro a tierra, por el que ofrece una vía controlada para que salte un arco eléctrico en caso de sobretensión

desenergizado estado de cualquier dispositivo conductor de electricidad que está desconectado de todas las fuentes de energía eléctrica

dispositivos antiescalada, antiescalamiento o antitrepadores para fauna en líneas eléctricas son barreras y aislantes que se instalan en postes, cables, estaciones transformadoras u otras partes del tendido para prevenir que animales trepadores (como zarigüeyas, zorros, perezosos o ardillas) o aves toquen partes energizadas, evitando

electrocuciones, cortocircuitos y fallas en el suministro eléctrico, protegiendo así tanto a la fauna como a la infraestructura

dispositivos antiposada, antiposamiento o antipercha elementos disuasores que evitan que las aves se posen o dificultan que lo hagan en partes peligrosas de un travesaño en un poste eléctrico

dispositivos de marcaje tipos de dispositivos de señalización utilizados para reducir colisiones entre aves y líneas eléctricas

ecotono área de transición entre dos ecosistemas o comunidades ecológicas diferentes, donde se mezclan sus características y especies

efecto corona es un fenómeno eléctrico que se produce en conductores sometidos a altas tensiones, cuando el campo eléctrico alrededor del conductor ioniza el aire circundante sin llegar a formar un arco completo. Esta ionización provoca pequeñas descargas parciales, visibles a veces como un resplandor azulado, y va acompañada de ruido, pérdidas de energía y degradación del aislamiento

electroporación desorganización celular generalizada con pérdida de consistencia y estructura muscular, causada por la alta temperatura generada por la electricidad al pasar por los tejidos cuando un ave se electrocuta. En estos casos, suelen

aparecer manchas blancas con aspecto viscoso en la piel de las patas.

elemento de tensión elemento en torres de celosía de acero que soporta la cruceta desde arriba

energizado estado de cualquier dispositivo conductor de electricidad conectado a una fuente de energía eléctrica

estructura torre reticulada que soporta cables y equipos eléctricos para la transmisión o distribución de electricidad

falla perturbación del servicio eléctrico que interrumpe la calidad del suministro, por ejemplo, causada por incendios, tormentas, rayos, impactos o electrocuciones de animales, etc.

falla fase-fase contacto entre dos fases energizadas. Un ave puede causar una falla fase-fase cuando partes carnosas de sus alas u otras partes del cuerpo (incluido el pico o plumas mojadas) tocan o se conectan mediante un arco eléctrico a dos fases energizadas al mismo tiempo.

falla fase-tierra contacto de una fase energizada con el potencial de tierra. Un ave puede causar una falla fase-tierra cuando partes carnosas de su cuerpo (o su pico o ala mojada o plumas de la cola) tocan o se conectan mediante un arco eléctrico a una fase energizada y tierra al mismo tiempo.

fase conductor eléctrico energizado

flecha distancia vertical máxima entre el punto más bajo del conductor y la línea recta imaginaria que une los puntos de sujeción en los soportes

fusible dispositivo que protege la línea de sobretensiones produciendo el corte del flujo eléctrico si se supera una tensión determinada; pueden montarse solos o acompañados de seccionadores.

fusible-seccionador dispositivo que cumple doble función, permite la maniobra (apertura o cierre) y al mismo tiempo protege contra sobretensiones y cortocircuitos. A menudo se instalan en sustitución de los seccionadores de cuchilla. En España se utiliza la denominación seccionador-fusible, fusible XS o *cutout*.

herramientas de mapeo de sensibilidad herramientas geográficas para planificación regional que guían la toma de decisiones sobre la ubicación de desarrollos energéticos; son el primer paso para identificar áreas sensibles en las que se debe evitar construir infraestructura peligrosa para especies afectadas o para priorizar áreas donde se pueda realizar trabajo de mitigación de impactos.

hilo de guarda o guardia ver cable de guarda o guardia

huesos metacarpianos la “muñeca” de un ave (ver muñeca)

interrupción del servicio evento que ocurre cuando la fuente de energía se corta de la carga

interruptor-seccionador bajo carga (LBS, por sus siglas en inglés para *load break switch*). Sustituye a los seccionadores como dispositivo de maniobra. Es un dispositivo de corte y aislamiento en envolvente hermética, especialmente diseñado para operación remota.

juvenil ave en su primer año de vida, contando hasta el 31 de diciembre, independientemente del mes de nacimiento (año calendario)

kilovoltio 1 000 voltios, abreviado como kV

lesiones perimortem lesiones producidas inmediatamente después de la muerte, cuando la sangre aún circula

línea de distribución circuito de cables de baja, media o alta tensión, usualmente energizados a tensiones menores de 60 kV (aunque a veces mayores), usados para distribuir la electricidad desde subestaciones de distribución hasta los usuarios finales

línea de evacuación o interconexión línea que lleva la electricidad desde las centrales generadoras

a las subestaciones elevadoras de transmisión, donde parten las líneas de transmisión (evacuación es más utilizado en España e interconexión en Latinoamérica)

línea de postación línea de distribución, de media o baja tensión, montada en postes, diferenciándose de las líneas de transmisión sobre torres

línea de subtransmisión o de reparto línea que transporta la electricidad entre las subestaciones reductoras y las subestaciones de distribución (subtransmisión es más utilizado en Latinoamérica y reparto en España)

línea de transmisión (o transporte) circuito de cables de alta tensión, normalmente energizados a tensiones superiores a 60 kV, utilizado para transportar electricidad desde plantas de generación hasta las subestaciones de distribución

línea de transporte ver línea de transmisión

luz distancia entre dos postes o torres consecutivas (ver vano)

media tensión tensión de 1 a 35 kV (según IEC 60038, aunque estos valores pueden variar según el país)

metapoblación grupo regional de poblaciones conectadas de una especie

muñeca articulación en el medio del borde de ataque (filo) del ala de un ave. La piel que cubre la muñeca es la parte carnosa más externa de un ala

muy alta tensión tensión > 132 kV (según IEC 60038, aunque este valor puede variar según el país)

pararrayos sinónimo de apartarrayos (ver apartarrayos); también denominados autoválvulas

pasatapas en un transformador de intemperie, aislador que atraviesa la tapa o pared del transformador que permite que el borne quede accesible al exterior, manteniendo el aislamiento entre el conductor interno y la caja del transformador a tierra

pilar ver poste

pilón ver poste

planta de generación instalación que genera electricidad

plumas primarias también llamadas primarias. Las 10 plumas de vuelo más externas del ala que forman la parte distal de la “mano” del ala

población subconjunto de individuos de una especie que ocupa un área geográfica determinada y, en especies con reproducción sexual, se cruzan entre sí

polluelo volantón ave que recientemente ha dejado el nido y aún puede depender de sus padres para alimentarse

poste soporte de concreto (hormigón), madera, acero o fibra de vidrio, que sostiene los conductores mediante crucetas y aisladores de una red eléctrica de baja y media tensión, proporcionando también sostén a los equipamientos. Puede denominarse también pilón o pilar. En España es muy común usar “apoyo” como sinónimo de poste.

postes de amarre o anclaje postes que proporcionan puntos firmes en la línea, manteniendo la tensión del cableado y protegiéndola de esfuerzos excepcionales; presentan a ambos lados cadenas de aisladores conectadas por puentes flojos por encima o debajo de ellas. También llamados **postes de retenida o retención**.

postes de soporte, sujeción o suspensión postes que sostienen y mantienen los cables sobre el suelo, a una altura determinada

poste problemático/peligroso poste que por su diseño y/o características presenta un alto riesgo de electrocución para las especies de fauna que lo utilizan (normalmente para posarse, anidar o descansar)

poste seguro poste eléctrico con una configuración en la que el riesgo de electrocución es mínimo o inexistente para la fauna que lo utiliza, gracias a la separación suficiente entre sus partes con diferente tensión o a la instalación de elementos aislantes

puentes de unión cables presentes en los postes de amarre, dispuestos por encima o por debajo de los aisladores, cuya función es transmitir la energía eléctrica de un lado al otro del poste sin trasladar los esfuerzos mecánicos. En España es más común la denominación de puentes flojos de amarre.

puesta a tierra en media tensión, cable conductor que conecta las partes metálicas de una instalación (normalmente la cruceta o el poste, si es metálico) a un electrodo enterrado en el suelo, cuya función es descargar a tierra las corrientes de falla o sobretensiones, garantizando seguridad y estabilidad eléctrica y la protección de las personas y equipos. También se denomina **bajada o descarga a tierra** o toma de tierra en algunos países.

raqueta elemento metálico de protección montado en cadenas de aisladores (especialmente en amarre) que controla el gradiente de campo y ofrece un camino preferente para el arco, reduciendo corona y evitando daños al aislador durante sobretensiones

reconectador (recloser) montado sobre el poste o cruceta auxiliar, es un interruptor con capacidad de reconexión automática. Es un dispositivo de protección capaz de detectar una sobrecorriente, interrumpirla y reconectar automáticamente el servicio para reenergizar la línea si la falla es transitoria

regulador de tensión dispositivo cuya función consiste en mantener una tensión de salida estable ante variaciones en la tensión de entrada

seccionador de cuchilla dispositivo mecánico de maniobra destinado a abrir o cerrar un circuito eléctrico en condiciones de carga nula o muy baja, proporcionando una separación visible y segura entre partes de una instalación. No puede cortar corrientes de carga nominal (de servicio) ni de falla (cortocircuito). Puede ser unipolar, si opera sobre un solo conductor, o tripolar, si opera sobre los tres conductores a la vez. En España, cuando se emplea el término “seccionador”, se sobreentiende que se refiere a un seccionador de cuchilla.

seccionador-fusible ver fusible-seccionador

seccionalizador automático dispositivo que distingue entre fallas transitorias y permanentes, aislando y desconectando automáticamente una línea solo en el último caso. Se instala en lugar de un seccionador-fusible cuando existe un alto riesgo de interrupciones.

separación distancia física entre conductores y/o cables de guarda

soporte en general, estructura vertical que mantiene los conductores eléctricos y equipos a suficiente altura del suelo para transmitir o distribuir energía eléctrica. Puede ser de madera, fibra de vidrio, concreto o acero (ver poste y torre).

subadulto ave con edad intermedia entre juvenil y adulto

subcruceta ver cruceta auxiliar

subestación punto de transición (donde la tensión se incrementa o disminuye) en el sistema de transmisión y distribución

subpoblación subconjunto de una población mayor

sustrato de nido base sobre la que se construye un nido, por ejemplo: acantilados, árboles, suelo, postes eléctricos, torres, plataformas, etc.

terminación ver botella terminal

terminal punto final de una línea eléctrica

tierra objeto que realiza una conexión eléctrica con la tierra

toma de tierra ver puesta a tierra

torre soporte, normalmente de estructura reticulada de acero, propio de las líneas de transmisión (torre o estructura se suele utilizar en diversos países de Latinoamérica en general para los soportes de la alta tensión)

torre de celosía torre metálica reticulada (ver soporte)

transformador dispositivo utilizado para aumentar o disminuir la tensión eléctrica

vano tramo de conductor comprendido entre dos soportes consecutivos; incluye la curvatura real del cable. En la práctica, “vano” y “luz” se usan a veces como sinónimos, aunque el vano se refiere al conjunto físico del tramo, no solo a su proyección horizontal (ver luz).

voltaje fuerza electromotriz expresada en voltios

voltio unidad de medida del potencial eléctrico

Acrónimos

AEWA	<i>Agreement on the Conservation of African–Eurasian Migratory Waterbirds</i> (Acuerdo sobre la conservación de las aves acuáticas migratorias de África y Eurasia)
AIE	Agencia Internacional de la Energía
APLIC	<i>Avian Power Line Interaction Committee</i> (Comité de Interacciones entre las Aves y las Líneas Eléctricas)
CAD	Centro de Análisis y Diagnóstico de la Fauna Silvestre
CAF	Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe (antes Corporación Andina de Fomento)
CDB	Convenio sobre la Diversidad Biológica
CECARA	Centro para el Estudio y Conservación de las Aves Rapaces en Argentina
CELEC EP	Empresa Pública Estratégica Corporación Eléctrica del Ecuador
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CIBIO	<i>Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos</i> (Centro de Investigación en Biodiversidad y Recursos Genéticos)
CIGRE	<i>Conseil International des Grands Réseaux Electriques</i> (Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas)
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CMS	<i>Convention on Migratory Species</i> (Convención sobre Especies Migratorias)
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
CSMA	Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente
CTI	centro de transformación de intemperie
DEF	<i>Département des Eaux et Forêts</i> (Departamento de Aguas y Bosques)
EAE	evaluación ambiental estratégica
EIA	evaluación de impacto ambiental
EPRI	<i>Electric Power Research Institute</i> (Instituto de Investigación de Energía Eléctrica)
ETF	<i>Energy Task Force</i> (Grupo de trabajo sobre energía)
EE. UU.	Estados Unidos de América
EWT	<i>Endangered Wildlife Trust</i> (Fondo para la Fauna Silvestre en Peligro de Extinción)
FAO	<i>Food and Agriculture Organisation of the United Nations</i> (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de posicionamiento global)
GREFA	Grupo de Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i> (Sistema global para comunicaciones móviles)

HCEFLCD	<i>Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification</i> (Alto Comisariado para el Agua, los Bosques y la Lucha contra la Desertificación)
IBA	<i>Important Bird Area</i> (Área Importante para las Aves)
IBAMA	<i>Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</i> (Instituto Brasileño del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables)
IBAT	<i>Integrated Biodiversity Assessment Tool</i> (Herramienta integrada de evaluación de la biodiversidad)
ICBP	<i>International Council for Bird Protection</i> (Consejo Internacional para la Protección de las Aves)
ICMBio	<i>Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade</i> (Instituto Chico Mendes para la Conservación de la Biodiversidad)
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> (Comisión Electrotécnica Internacional)
IFC	<i>International Finance Corporation</i> (Corporación Financiera Internacional)
INCITAP	Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa
IPBES	<i>Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services</i> (Plataforma intergubernamental científico-normativa sobre biodiversidad y servicios ecosistémicos)
KBA	<i>Key Biodiversity Area</i> (Área Clave para la Biodiversidad)
LRE	Lista Roja de Ecosistemas de la UICN
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MT	media tensión
OLACDE	Organización Latinoamericana y Caribeña de Energía
ONG	organización no gubernamental
PVC	<i>Polyvinylchloride</i> (Cloruro de polivinilo)
RCA	resolución de calificación ambiental
SEIA	sistema de evaluación de impacto ambiental
SIG	sistema de información geográfica
STAR	<i>Species Threat Abatement and Restoration</i> (Reducción de amenazas y restauración de especies)
UE	Unión Europea
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UICN Med	Centro de Cooperación del Mediterráneo de la UICN
USFWS	<i>United States Fish and Wildlife Service</i> (Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos)
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i> (Transversal mercator universal)



Línea eléctrica de distribución, Brasil © Thiago Filadelfo

1

Introducción

**José Rafael Garrido López¹, Justo Martín Martín²
y Helena Clavero Sousa³**

¹ *Agencia de Medio Ambiente y Agua, Consejería de Sostenibilidad
y Medio Ambiente, Junta de Andalucía, España*

² *JMM Consultant (consultor independiente)*

³ *Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza –
Centro de Cooperación del Mediterráneo (UICN Med)*

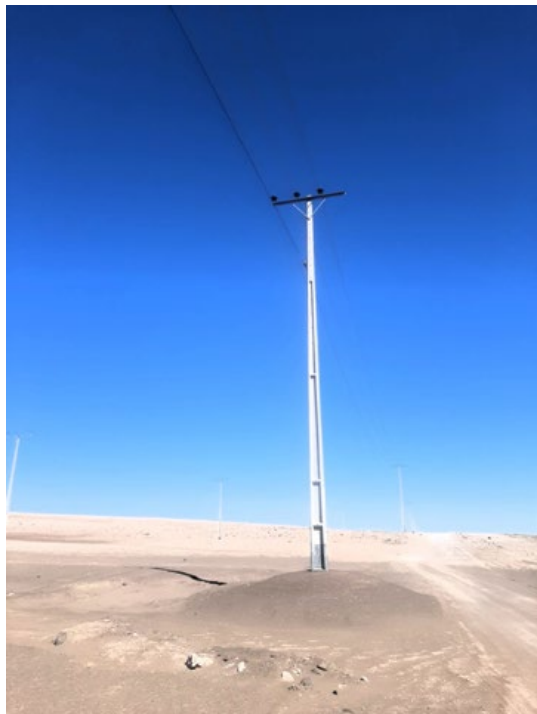


Figura 1.1. Permitir que las redes eléctricas suministren energía a toda la población, independientemente de dónde se encuentre, es clave para lograr altos niveles de bienestar e igualdad de oportunidades en nuestras sociedades. Línea eléctrica en Chile. Por Rodrigo Silva vía iNaturalist Chile. CC BY-NC

1.1. Contexto global

Desde la iluminación de nuestros hogares hasta el funcionamiento de la industria global, la sociedad humana depende de un flujo constante de energía. La electricidad constituye uno de los principales tipos de energía consumida y es indudable que proporcionar acceso universal a esta es esencial para lograr altos niveles de bienestar e igualdad de oportunidades (Figura 1.1). **El uso eficiente de esta energía exige un sistema de distribución eficaz entre los sitios de producción y consumo, lo que implica el despliegue de una amplia red de infraestructura lineal, conocida como líneas eléctricas o tendidos eléctricos.**

Pero el auge de las poblaciones humanas y el desarrollo tecnológico está provocando un crecimiento exponencial de la demanda de energía a nivel mundial, vinculado al desarrollo de nuevas infraestructuras y de la electrificación en numerosos países. Aunque estos avances son fundamentales para garantizar el acceso a la energía,

también presentan importantes desafíos ambientales, pues presentan fuertes impactos sobre el medio natural. **La sociedad se encuentra así en una encrucijada crítica, requiriendo la implementación de soluciones innovadoras y sostenibles para asegurar nuestro futuro energético sin destruir la naturaleza.**

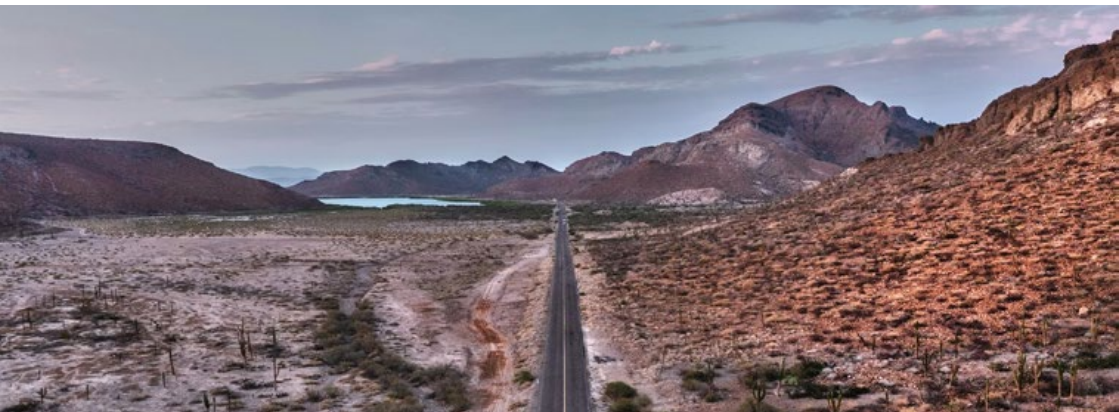


Figura 1.2. La infraestructura lineal ha fragmentado y degradado al menos el 75% del medio ambiente terrestre. Carretera en La Paz, México. Jezael Melgoza, Unsplash

Las infraestructuras lineales entre las que se encuentran las líneas eléctricas junto a carreteras, ferrocarriles, vías navegables, canales y oleoductos, son uno de los principales focos de conflicto entre el desarrollo socioeconómico y la conservación de la naturaleza (Figura 1.2). Mientras son fundamentales para contribuir al crecimiento económico de cualquier país al facilitar el transporte de personas, energía, combustible y bienes de un lugar a otro, también afectan a la supervivencia de especies y ecosistemas. Con más de 100 millones de kilómetros extendidos por todo el planeta y creciendo, se calcula que las infraestructuras lineales de todo tipo han **fragmentado y degradado ya al menos el 75% del medio natural terrestre, por lo que es urgente garantizar que el desarrollo de este tipo de infraestructuras sea sostenible y seguro, tanto para los humanos como para la biodiversidad** (Georgiadis, 2020). Estos impactos pueden ser más o menos locales, como los producidos por la extracción directa de combustibles y materias primas (carbón, petróleo, gas natural, etc.) o el uso del suelo para infraestructuras energéticas (represas para la producción hidroeléctrica, parques solares), o globales, caso del aumento de las emisiones de gases a la atmósfera y del cambio climático.

Se estima que en la actualidad hay más de 70 millones de kilómetros de líneas eléctricas de media y alta tensión en uso en todo el mundo

Las líneas eléctricas en particular están muy extendidas en nuestros paisajes y en muchos lugares es casi imposible ver un horizonte abierto sin postes eléctricos o cables, incluso en zonas deshabitadas (Figura 1.3). Se estima que en la actualidad hay **más de 70 millones de kilómetros de líneas eléctricas de media y alta tensión en uso en todo el mundo**, equivalente a más de 180 veces la distancia entre la Tierra y la Luna; más del 90% se corresponden con líneas de distribución (AIE, 2023).

La cifra sigue incrementándose a gran velocidad, dado el aumento de la generación de electricidad asociada a los nuevos parques eólicos y fotovoltaicos y otras fuentes renovables y el desarrollo de la electrificación en muchos países. Éstas se hacen inevitables por el cambio de modelo energético que se está produciendo, condicionado en gran medida por la necesidad de cumplir con los objetivos del Acuerdo de París para reducir las emisiones de carbono y luchar contra el cambio climático (CMNUCC, 2015; IPCC, 2023; Solberg, 2024). Según las previsiones de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), con el fin de cumplir con estos objetivos, será necesario añadir o sustituir 80 millones de kilómetros de líneas eléctricas antes de 2040, **esperándose para el 2050 que la red supere los 166 millones de km, más que la distancia de la Tierra al Sol** (AIE, 2023).

Figura 1.3. Las líneas eléctricas forman parte de los paisajes actuales. Se estima que hay más de 70 millones de km de líneas eléctricas en uso en todo el mundo; para 2025 se espera que la red haya superado los 166 millones. Paisaje atravesado por tendidos, Brasil. © Mozart da Silva Lauxen / IBAMA





Figura 1.4. El fomento de las energías renovables, esencial para frenar el cambio climático, implica que deben construirse nuevas centrales eléctricas y añadirse nuevas líneas eléctricas a las ya existentes. Parque eólico en Brasil. Vitor Bitencourt, Pixabay

El cambio climático derivado de las emisiones de gases de efecto invernadero y la pérdida de biodiversidad son los mayores desafíos a los que se enfrenta la humanidad, ya que están desestabilizando todo el planeta. El cambio climático en sí es ya una gran amenaza para la biodiversidad y se encuentra entre los cinco impulsores más importantes de la destrucción de la naturaleza, provocando la extinción de especies (CMNUCC e IPBES, 2019). Sin una reducción rápida y sustancial de las emisiones de gases, las consecuencias serán devastadoras para las sociedades humanas y miles de especies correrán riesgo de extinción (Thomas et al., 2004). Una parte importante de la solución pasa por el **impulso a energías renovables que reemplacen las tecnologías que producen altas emisiones, lo que ayudará a disminuir la amenaza general a la biodiversidad**. Ese impulso implica el desarrollo de nuevas infraestructuras eléctricas, que debe planificarse correctamente para minimizar sus impactos asociados (Figura 1.4).

Cuando las líneas eléctricas no están adecuadamente planificadas, diseñadas y/o gestionadas pueden tener importantes consecuencias para el medio ambiente, provocando pérdida de biodiversidad, contaminación, modificación y degradación del hábitat o alteración de la conectividad del paisaje, a través de sus diversos impactos en los ecosistemas que atraviesan, que generan además altos costos económicos (Biasotto y Kindel, 2018; ver capítulo 3). Tienen un impacto visual significativo en los paisajes terrestres y transforman los hábitats naturales, produciendo un efecto de



Figura 1.5. Las líneas eléctricas pueden ser beneficiosas para ciertas especies de aves al permitir que aniden, se posen y duerman en los postes. Nido de cotorra argentina (*Myopsitta monachus*) en una torre de una línea de transmisión en Uruguay. © Pablo G. Fernández

barrera para algunas especies animales y, en algunos casos, afectando a corredores migratorios e impidiendo la conectividad ecológica entre especies o poblaciones (CMS, s.f.). Aparte del efecto corona y sus consecuencias acústicas y visuales, también crean un campo electromagnético y contaminación acústica a su alrededor y pueden contribuir a la contaminación atmosférica, fundamentalmente por los incendios forestales que en ocasiones se originan en sus cercanías debido a los cortocircuitos (FAO, 2001; Keeley et al., 2011; Cruz et al., 2012; Mitchell, 2013; Syphard y Keeley, 2015; Guil et al., 2018).

Pero los impactos más conocidos son probablemente los que implican interacciones directas con la fauna, en especial las aves. Estos pueden ser beneficiosos, permitiendo que ciertas especies aniden, se posen y descansen en los postes (Figura 1.5), o perjudiciales, resultando en la muerte de individuos, principalmente por electrocución y colisión (Figura 1.6; ver capítulos 3, 4 y 5). Aun siendo las especies de aves de mayor tamaño las más perjudicadas, este efecto negativo se extiende a otros grupos, como mamíferos (principalmente primates) e incluso reptiles, anfibios e invertebrados. La magnitud y el tipo de estos impactos depende, entre otros factores, del tipo de línea, como se verá en los capítulos siguientes.

La intensidad de este impacto no es uniforme y varía enormemente dependiendo de los diferentes ambientes y especies presentes en ellos. **Las aves rapaces se encuentran entre los grupos más gravemente afectados por las electrocuciones, habiéndose documentado en más de 70 especies de todo el mundo** (Hunting, 2002; Lehman et al., 2007). Por otro lado, las colisiones de aves con líneas aéreas son un fenómeno global que mata a millones de ejemplares cada año en

Las aves rapaces se encuentran entre los grupos más gravemente afectados por las electrocuciones, habiéndose documentado en más de 70 especies de todo el mundo



Figura 1.6. Las líneas eléctricas pueden tener un impacto directo negativo sobre la fauna, especialmente las aves, a través de la electrocución o la colisión. Condor andino (*Vultur gryphus*) electrocutado en Chile, Región Metropolitana de Santiago, Melipilla. Por Francisco Santander vía iNaturalist Chile. CC BY-NC 4.0

todo el mundo. Este tipo de incidentes contribuyen a la disminución de poblaciones y subpoblaciones de algunas especies con mal estado de conservación, ya sean residentes en zonas atravesadas por líneas eléctricas, invernantes o de paso durante migraciones o dispersión, y afectan tanto a juveniles como a adultos (Ferrer, 2012; Bernardino et al., 2018; Eccleston y Harness, 2018; Uddin et al., 2021; Sözüer et al., 2022; véanse también los capítulos 4 y 5 y los estudios de caso del capítulo 9).

Este impacto es global, ocurre en cualquier parte del mundo donde haya líneas eléctricas. Algunas estimaciones indican que **entre 12 y 64 millones de aves mueren cada año en América del Norte** (Loss et al., 2014), **varios millones más en Europa** (Prinsen et al., 2011a) y **alrededor de 10 millones por año en Rusia** (Matsyna y Matsyna, 2011; Dwyer et al., 2023) por poner sólo algunos ejemplos. La magnitud numérica del problema de conservación a nivel mundial es evidente, considerando estos datos y que la mortalidad que producen las líneas eléctricas en

otras partes del mundo es desconocida o subestimada, como **en Latinoamérica** donde **no existen este tipo de estimaciones**. La amenaza que representan trasciende las fronteras; se ha documentado, por ejemplo, en aves rapaces europeas amenazadas que alcanzan el norte de África en sus desplazamientos y en aves migratorias de varios países que pasan el invierno en China (Martín Martín et al., 2022).



Figura 1.7. Las aves rapaces son uno de los grupos más afectados por las líneas eléctricas. En América Latina no hay muchos estudios sobre el impacto que sufren, pero todo indica que, al menos en ciertas zonas y para ciertas especies, es significativo. Aguilucho común (*Geranoaetus polyosoma*), especie que usa frecuentemente los soportes como posadero, Chile. © Darío de la Fuente

Las interacciones con las líneas eléctricas, además de ser una amenaza para ciertas especies, también son un **problema para las compañías eléctricas** y pueden ser costosas y perturbadoras, especialmente las electrocuciones y la anidación, que causan fallas en el suministro y daños a los equipos (Southern Engineering Company, 1996; EPRI, 2001; Barret, 2002).

Además, en regiones remotas y menos accesibles, el desarrollo de infraestructuras de energía eléctrica puede acelerar la pérdida y fragmentación de hábitats que antes eran continuos debido a la construcción de redes de carreteras y tendidos eléctricos (Northrup y Wittemyer, 2013). Sin embargo, en muchas partes del mundo, como Latinoamérica, todavía falta una evaluación integral de este impacto (Biasotto et al., 2022).

1.2. Contexto latinoamericano

En los últimos años, Latinoamérica ha experimentado un incremento en sus demandas de electricidad asociado a un incipiente crecimiento económico, demanda que no hará sino aumentar en un futuro próximo (Agostini et al., 2019). **Los modelos de proyección predicen que la demanda de electricidad en América Latina y el Caribe aumentará un 48 % entre 2020 y 2030**, con una tasa de crecimiento aproximado de 3,9% en promedio anual para el resto de la década (Figura 1.8); este incremento es mayor al promedio de la década previa (2010-2019), el cual fue de 2,3% en promedio anual (López-Soto et al., 2022).

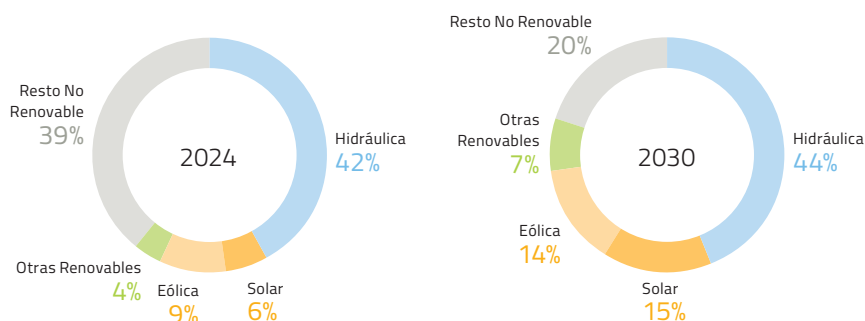


Figura 1.8. Las proyecciones apuntan a un rápido crecimiento de la importancia de las energías renovables en el global de la generación de energía. Proporción de las diferentes fuentes de generación de energía eléctrica en el conjunto de Latinoamérica, para 2024 y prevista para 2030. Fuente: elaboración propia a partir de AIE, 2024 y Ember, s.f.

Estas demandas han sido cubiertas tradicionalmente en gran parte por fuentes de energía renovable; en 2022 alrededor del 62% de la generación eléctrica regional provino de estas fuentes, muy por encima del promedio mundial (29%) (AIE, 2024). Esta elevada cuota se sustenta principalmente en la energía hidroeléctrica, que aporta cerca del 45% de la electricidad regional (AIE, 2023b; Figura 1.9). Sin embargo, en las próximas décadas se proyecta que las tecnologías solar fotovoltaica y eólica serán los protagonistas del crecimiento, duplicando su participación conjunta del 11% actual a aproximadamente un 40% de la generación eléctrica para 2050. Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), **la cuota renovable aumentaría a dos tercios para 2030 e incluso podría superar el 90% hacia 2050** (AIE, 2023b).



Figura 1.9. La energía hidroeléctrica es en la actualidad la principal fuente de producción energética renovable. Imagen de la central hidroeléctrica de Itaipú, en el río Paraná, entre los países de Brasil y Paraguay, la más grande de América. Por Herr Stahlhoefer vía Wikimedia Commons. CC0 (dominio público)

Se estima que para 2030 los países que invertirán en mayor capacidad serán los del Cono Sur americano con 79 617 MW, especialmente en Brasil, seguido por Centroamérica con 45 678 MW, la región andina con 19 313 MW y el Caribe con aproximadamente 6 328 MW (López Soto et al., 2022).

Lograr altos porcentajes de energías renovables requerirá redes eléctricas más extensas, robustas y flexibles. De acuerdo con análisis recientes (Madrugal Martínez et al., 2024), en América Latina las inversiones en redes deben triplicarse para 2030 y multiplicarse por seis hacia 2050. **La expansión de las energías renovables en América Latina no solo exige inversiones masivas en grandes líneas de transmisión, sino también un esfuerzo urgente para modernizar y expandir la red de distribución eléctrica.** La infraestructura de transmisión y distribución existente en muchos países de la región enfrenta problemas de antigüedad, pérdidas técnicas elevadas y cuellos de botella que podrían frenar la incorporación de nuevos proyectos renovables (Madrugal Martínez et al., 2024).

Los esfuerzos de planificación energética en la región están incorporando estas recomendaciones. Varios países han anunciado o elaboran ya planes nacionales de expansión de redes con visión 2030-2040, que contemplan más kilómetros de líneas y

la modernización de las existentes. Existen además iniciativas de coordinación regional que buscan armonizar normativas para facilitar proyectos transfronterizos, como el Sistema de Interconexión Eléctrica de América Central, el Sistema de Interconexión Andina o la Integración Eléctrica Sudamericana (AIE, 2023b).

La longitud de la red eléctrica latinoamericana se estima actualmente en medio millón de kilómetros lineales de líneas de transmisión, lo que significa al menos 10 veces más de líneas de distribución, por lo que se puede hablar de una estima de 5 millones de km de tendidos eléctricos en la región. Esta red es más extensa en los países más grandes (Tabla 1-1).



Figura 1.10. El crecimiento económico experimentado por Latinoamérica en la última década implica un desarrollo significativo de la red eléctrica. Línea de transmisión en Colombia. © Darío Correa

Tabla 1-1. Longitud de la red eléctrica de distribución en países de Latinoamérica, según el voltaje, y total de kilómetros.

País	Voltaje (KV)	Longitud (km)	Total km
México	400	25 922	109 006
	230	29 486	
	161	519	
	138	1 779	
	115	48 159	
	85	795	
	69	2 346	
Brasil	800	9 204	181 528
	600	9 544	
	750	1 722	
	500	74 558	
	440	7 130	
	345	11 031	
	230	68 339	
Perú	500	2 964	29 638
	220	11 262	
	138	5 038	
	60-75	7 706	
	30-50	2 667	
Colombia	220-230	13 687	17 570
	500	3 883	
Uruguay	150	4 756	5 800
	500	580	
	Otro	464	
Chile	33	39 300	39 300
	44		
	66		
	69		
	100		
	110		
	154		
	220		
	345		
	500		
Argentina	500	14 195	47 772
	330	1 120	
	220	2 835	
	132	29 200	
	66	398	
	33	24	
Paraguay	500	711	6 958
	220	4 831	
	66	1 416	

Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por Patricia Manzano (México), Antonio Emanuel Barreto Alves de Sousa, Marcos de S. Fialho y Arlindo Gomes-Filho (Brasil), Giuliana Atalaya (Perú), Darío Correa (Colombia), Pablo G. Fernández-Santiago (Uruguay), Francisco Santander y Carolina Donoso (Chile) y la información existente en <https://www.cigre.org/GB/community/cigre-global-community>.

Bajo este escenario, es indudable que la longitud y superficie ocupada por tendidos eléctricos aumentará en esta región en un futuro cercano tal como sucedió en otras partes del mundo (Jenkins et al., 2010; D'Amico et al., 2019) y sin embargo la **información sobre el impacto que producen en ella es limitada y dispersa** (Bernardino et al., 2018; Guil y Pérez García, 2022). Los escasos estudios que existen apuntan a que suponen una amenaza significativa para ciertas especies de aves, habiéndose identificado cerca de 90 especies distintas afectadas por este problema, muchas de ellas en peligro de extinción (Rebolo-Ifrán et al., 2023). Amenaza que aumentará sin duda con el crecimiento de la demanda energética y el desarrollo de nuevas redes eléctricas (Yépez-García et al., 2018; Sarasola et al., 2022).

Aunque **los datos disponibles apuntan a que esta problemática está presente en muchas zonas de la región**, la información sobre las especies y zonas geográficas más afectadas, número de individuos que mueren o las medidas de mitigación implementadas y su eficacia es escasa y principalmente anecdótica, limitándose la poca que existe de calidad a algunos países como Argentina, Brasil, Perú, Chile, Colombia (Rebolo-Ifrán et al., 2023) y México (Manzano-Fischer et al., 2007; Escobar-Ibáñez et al., 2022; Cartron et al., 2000, 2005, 2006).

Hoy en día existe la capacidad científica, de ingeniería e industrial para implementar medidas de prevención y mitigación que ayudarían en gran medida a conservar las poblaciones animales afectadas (Figura 1.11). Garantizar que el desarrollo de estas infraestructuras sea sostenible y seguro tanto para los humanos como para la biodiversidad es un desafío que requiere una acción urgente a múltiples escalas por parte de una amplia gama de sectores públicos y privados. Una gestión eficiente requiere información científica confiable que tenga en cuenta las perspectivas de las partes involucradas, como científicos, responsables políticos, autoridades y, en este caso, compañías eléctricas.

Hoy en día existe la capacidad científica, de ingeniería e industrial para implementar medidas de prevención y mitigación que ayudarían en gran medida a conservar las poblaciones animales afectadas



Figura 1.11. Existe la capacidad científica, de ingeniería e industrial para implementar medidas efectivas de prevención y mitigación. Poste adaptado con dispositivos de alejamiento (aisladores largos) y aislamiento (fundas de conductores, grapas y puentes). © Justo Martín

En las actuaciones para evitar la electrocución o colisión de fauna, **las compañías eléctricas son parte fundamental** y es necesario que tomen conciencia de su papel en la conservación de ciertas especies y poblaciones; sólo entre Perú, Chile y Argentina, entre 2009 y 2023 las compañías eléctricas registraron más de 19000 incidencias en sus redes producidas por la fauna (Rebollo-Ifrán et al., 2023). Las incidencias suponen interrupciones de suministro y gastos de reparación que quedan a cargo de las empresas. Por ello, es esencial conseguir la implicación de este sector, en general en la reducción al máximo de los impactos, y en particular en la implementación de programas de conservación y protección de las especies afectadas, especialmente las amenazadas.

Es urgente que la comunidad científica, las autoridades ambientales y las empresas del sector energético de Latinoamérica comiencen a priorizar el abordaje de esta problemática mediante la generación de datos robustos, que permitan la identificación de áreas de alta sensibilidad para la fauna. Al menos en esas áreas deben implementarse medidas de mitigación en las líneas antiguas y adoptarse diseños seguros para las

de nueva creación. Sería además de gran ayuda que las legislaciones nacionales recogiesen la obligatoriedad de esas medidas y su inclusión en las evaluaciones de impacto ambiental, si no lo hacen aún.

Hay que destacar que la adopción de medidas preventivas frente al impacto de las líneas eléctricas no solo favorece la conservación de la vida silvestre, sino que también ofrece claras ventajas económicas para las empresas del sector. La colaboración con universidades y ONG permite identificar con precisión las áreas críticas, optimizando la inversión y evitando actuaciones innecesarias. Aunque a veces las compañías perciben estas medidas como un costo adicional, la experiencia demuestra que **la planificación basada en evidencia científica reduce averías, reposiciones y riesgos legales**. Así, la prevención se convierte en una estrategia eficiente y beneficiosa para todas las partes implicadas. Solo mediante una acción coordinada y regulada será posible compatibilizar el desarrollo energético con la conservación de la biodiversidad de la región.

Para abordar este tema y la necesidad de soluciones, por otro lado, varios **tratados internacionales** apremian a proteger las aves y otros grupos animales del impacto de las líneas eléctricas, siendo muchos los países en diversas partes del mundo que llevan varias décadas implementando medidas correctoras en estructuras eléctricas con diseños riesgosos. Gobiernos y ONG trabajan en colaboración con compañías eléctricas para identificar líneas eléctricas con impactos negativos significativos sobre la fauna y para modificarlas, así como promoviendo nuevas líneas eléctricas respetuosas con la vida silvestre. Algunos países han ido más allá, promulgando leyes que regulan la construcción de líneas eléctricas para hacerlas más seguras e incluso invocando el principio de que “quien contamina paga”, imponiendo sanciones por violar estas leyes y no evitar las electrocuciones y colisiones.

La adopción y aplicación de medidas ya contrastadas permitirá minimizar el impacto que se puede estar produciendo en gran parte de Latinoamérica por la falta o escasez de esas medidas, ya que posiblemente existan miles de postes peligrosos donde la fauna puede electrocutarse y miles de kilómetros de líneas con las que pueden chocar las aves. En América Latina, con pocas excepciones, existe un diagnóstico limitado de los riesgos, escasos estudios o iniciativas para evitarlos y hay una **necesidad de directrices adaptadas a la situación regional en cuanto al diseño y las tipologías de las líneas eléctricas, los ecosistemas y las especies potencialmente afectadas**. Como publicaciones existentes destacadas que proporcionan recomendaciones para mitigar este tipo de impactos cabe señalar el manual *“Principales conflictos entre aves y líneas de energía eléctrica: Acciones*

de mitigación y otras soluciones para la conservación del águila real y otras rapaces” en México (Manzano-Fischer, 2007) y la “*Guía para la evaluación del impacto ambiental de proyectos eólicos y de líneas de transmisión eléctrica en aves silvestres y murciélagos*” (SAG, 2015).

La **presente publicación busca adaptarse a la realidad latinoamericana**, tomando como base principalmente el manual en inglés (Martín Martín et al., 2022; actualizando el contenido con los últimos avances científico-técnicos), así como la información disponible en las publicaciones mencionadas arriba, y complementándolo con los aportes de autoras y autores de los países de la región. De esta manera ayudará a la realización de diagnósticos sobre la situación en cada país y a la implantación de las mejores soluciones y prácticas existentes para afrontar los desafíos de la coexistencia entre líneas y fauna.



Figura 1.12. Es urgente abordar la adaptación de tendidos eléctricos peligrosos en Latinoamérica para minimizar una de las principales causas de mortalidad que afectan especialmente a rapaces. Águila mora (*Geranoaetus melanoleucus*). Por Ariel Cabrera Foix vía iNaturalist Chile. CC BY-NC

2

Energía y líneas eléctricas

**Justo Martín Martín¹, José Rafael Garrido López²
y Helena Clavero Sousa³**

¹ *JMM Consultant (consultor independiente)*

² *Agencia de Medio Ambiente y Agua, Consejería de Sostenibilidad
y Medio Ambiente, Junta de Andalucía, España*

³ *Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza –
Centro de Cooperación del Mediterráneo (UICN Med)*



Figura 2.1. La alta demanda de energía de la sociedad moderna requiere la existencia de grandes plantas de generación de energía eléctrica. Vista nocturna iluminada de Buenos Aires, Argentina. Por Matías Cruz vía Pixabay. CC BY-NC

2.1. Producción y transmisión de energía

La electricidad no se puede almacenar en grandes cantidades, al menos a la escala en la que nuestra sociedad la demanda, de manera que las necesidades de consumo se cubren manteniendo un equilibrio constante con la producción. Las redes eléctricas son las responsables de mantener ese equilibrio, conectando las plantas de generación de energía con los puntos de consumo, a menudo ubicados a cientos de kilómetros de distancia. Toda la electricidad que se está consumiendo en un momento dado, se está generando al unísono. Así, la producción debe subir o bajar en función de la demanda de energía en cada momento; una diferencia significativa produciría fallas en el suministro y/o daños en las infraestructuras.

Ese conjunto de infraestructuras que permite el suministro recibe el nombre de **sistema eléctrico**, en el que se diferencian tres actividades:

- **Generación**, que produce la electricidad en las plantas eléctricas, a partir de otra forma de energía (química, mecánica, térmica, luminosa, etc.).
- **Transmisión o transporte**, que lleva la electricidad desde las plantas eléctricas hasta las proximidades de los puntos de consumo.
- **Distribución**, que lleva electricidad hasta los consumidores finales.

La mayor parte de la **generación** se realiza en plantas donde la electricidad se produce mediante energía mecánica, que a su vez deriva de otras fuentes de energía primaria.

Esta energía mecánica normalmente proviene de energía térmica que se utiliza para calentar agua con el fin de producir vapor a alta presión, que impulsa turbinas donde esta energía mecánica se transforma en energía eléctrica. Existen varios tipos de plantas termoeléctricas, que se diferencian por la fuente de calor utilizada para convertir el agua en vapor.

En las plantas termoeléctricas convencionales la fuente de calor es el carbón, el fueloil, el gas o incluso el biodiesel. En las plantas solares térmicas la fuente de calor es la energía solar, concentrada a través de un sistema de espejos reflectores (Figura 2.2). Las plantas termoeléctricas de biomasa utilizan residuos agrícolas, forestales y madereros, mientras que las plantas de valorización energética funcionan con materiales que no se reciclan ni se reutilizan. Por su parte, las plantas nucleares utilizan el calor generado por la fisión de los núcleos de uranio.



Figura 2.2. En las plantas termosolares la luz del sol se utiliza para calentar unas sales a una temperatura capaz de generar vapor de agua y producir electricidad mediante una turbina. Planta Termosolar Cerro Dominador, desierto de Atacama (Chile), la primera en su género en Sudamérica. Por Tamara Merino/ International Monetary Fund. CC BY-NC-ND

Por otro lado, se encuentran las plantas hidroeléctricas, que aprovechan la energía potencial del agua para producir la electricidad (la diferencia de altura entre la entrada y la salida es la fuerza que impulsa las turbinas), mientras que en los parques eólicos la fuerza del viento se convierte directamente en electricidad mediante una turbina eólica conectada a las palas del rotor.

En las plantas solares fotovoltaicas no hay turbinas, producen electricidad a través de estructuras especiales, las células fotovoltaicas, capaces de captar la luz solar y convertirla en electricidad aprovechando el efecto fotoeléctrico (Figura 2.3).



Figura 2.3. Las plantas solares fotovoltaicas producen electricidad a través de las células fotovoltaicas, capaces de captar la luz solar y convertirla en electricidad. Central fotovoltaica en Antofagasta, Chile. © Antonio García/Unsplash

Hoy en día, a pesar del reciente y pronunciado aumento de la producción de electricidad a partir de fuentes renovables, la suma del carbón y petróleo constituye la principal fuente de la generación del mundo (alrededor del 38% en 2024), aunque se estima que en poco tiempo será superada por las fuentes renovables (AIE, 2025).

Dentro del **sistema que lleva la electricidad** desde las plantas hasta los puntos finales de consumo, se pueden distinguir varios tipos de líneas eléctricas según su función y su tensión (Figura 2.4).

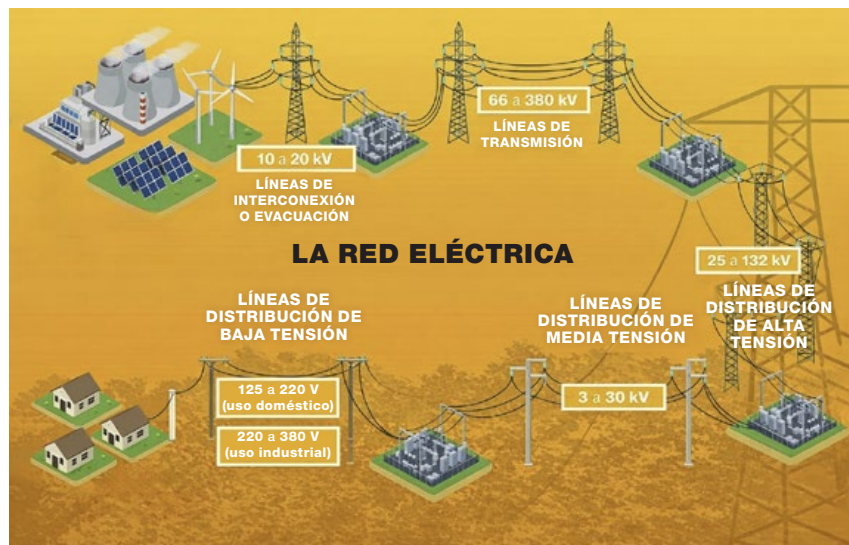


Figura 2.4. Las líneas eléctricas transportan la electricidad desde las centrales hasta los puntos de consumo. Diagrama de una red eléctrica. © UICN

En las centrales eléctricas la electricidad se genera con un voltaje de 10 a 22 kilovoltios (kV), transmitiéndose directamente a través de las **líneas de interconexión** (también denominadas de evacuación) a una subestación elevadora de transmisión (no muy alejada) para alcanzar una tensión de 115-230-500 kV o superior, de forma que se optimice la transmisión de electricidad en la red y se minimicen las pérdidas que puedan producirse en su recorrido (a altos voltajes la transmisión de electricidad es más eficiente).

La electricidad viaja así por las **líneas de transmisión** hasta las proximidades de los puntos de consumo, donde se ubican las **subestaciones reductoras**. Allí se reduce la tensión a valores de entre 69-138 kV y la electricidad se transfiere a las **líneas de subtransmisión** (también denominadas de reparto, o en algunos países como Chile, de distribución), que la llevan hasta las **subestaciones de distribución** donde nuevamente se reduce el voltaje, esta vez a 3-35 kV (Figura 2.5)².

² Los valores señalados de voltaje para los diferentes tipos de líneas son orientativos, ya que no hay una norma general, existiendo muchas variaciones entre países.



Figura 2.5. En las subestaciones, la electricidad de las líneas de transmisión se reduce en voltaje y luego se transfiere a las líneas de distribución. Subestación en la República Dominicana. © Aldward Castillo, Unsplash

Las **líneas de distribución de media tensión** reparten la electricidad, acercándola a los usuarios finales; antes todavía tiene lugar una última reducción del voltaje en los **transformadores** o **centros de transformación**, donde se reduce hasta los niveles de consumo, yendo ya de aquí directamente a los consumidores a través de las **líneas de distribución de baja tensión**, que transcurren por zonas habitadas. Los transformadores pueden estar situados dentro de un edificio o construcción, o al aire libre, sobre un poste de la línea eléctrica (en ese caso se denominan centros de transformación de intemperie, CTI). En algunos países se habla de líneas de postación (montadas sobre postes) para referirse a todas las líneas diferentes de las de transmisión (montadas sobre torres).

A la hora de hablar de líneas eléctricas se utiliza con mucha frecuencia la terminología de líneas de alta, media y baja tensión. Muchas veces, simplificando, a las líneas de transmisión se las llama de alta tensión y a las de distribución de media tensión. Sin embargo, estrictamente esto no es así. Existe una **norma internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional** (ICE, por sus siglas en inglés), la IEC 60038, que define las líneas eléctricas usadas en sistemas de suministro de electricidad de corriente alterna en alta y baja tensión según unos intervalos de tensiones nominales:

- Muy alta tensión > 132 kV
- Alta tensión 36-132 kV
- Media tensión 1-35 kV
- Baja tensión ≤ 1 kV

En Latinoamérica se sigue esa norma básica, si bien los intervalos adoptados varían entre unos países y otros, e incluso las denominaciones; por ejemplo, en México y Colombia se utiliza “extra alta tensión” en lugar de “muy alta tensión”, mientras que en otros países no existe ese término. Con frecuencia la media tensión incluye hasta 69 kV, mientras que el término “alta tensión” se reserva para las redes de transmisión por encima de 115 kV.

Diferentes naciones tienen normas y estándares propios y otros se rigen por estándares internacionales regionales, como los de la Comisión de Integración Energética Regional (CIER), organismo internacional del sector energético de América Latina y el Caribe (www.cier.org). Por su parte, en España existe una clasificación específica derivada de la normativa legal. La clasificación de baja tensión para las líneas de tensión menor de 1 kV es común para todos.

2.2. Componentes de una línea eléctrica

Por diversas razones de eficiencia y facilitar su uso y transporte, la electricidad se produce y transmite en forma de corriente alterna trifásica (Figura 2.6). Un **sistema trifásico** está formado por tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud de voltaje, que tienen una diferencia de ángulo de fase eléctrica de 120° entre ellas, constituyendo un circuito. Se denomina fase a cada una de las corrientes monofásicas que forman el sistema. Lo más normal es ver una línea eléctrica provista de tres cables, los tres conductores que constituyen el circuito, o múltiplos de tres si la línea porta más de un circuito. Más raras son las líneas bifásicas alternas, en las que existen dos fases desfasadas 90° . Con respecto a las trifásicas, tienen la ventaja que necesitan menor material conductor; pero son menos estables y eficaces.

La electricidad se transporta en forma trifásica alterna, es decir, a través de tres corrientes alternas con la misma frecuencia y amplitud de tensión

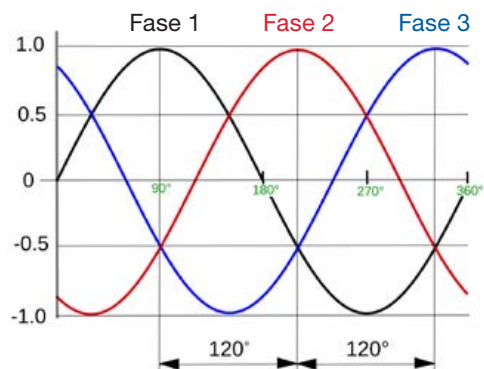


Figura 2.6. La electricidad se transporta en forma trifásica alterna, es decir, a través de tres corrientes alternas con la misma frecuencia y amplitud de tensión, que tienen una diferencia de ángulo de fase eléctrica de 120° entre ellas. En la gráfica, tensión en las fases de un sistema trifásico equilibrado. Por J. Messerly vía Wikimedia Commons. CC BY 3.0

Así, **una línea eléctrica aérea consta de dos elementos básicos:**

- **Fases o conductores:** los cables por los que circula la corriente eléctrica.
- **Postes, pilares, apoyos, columnas o torres:** los soportes o estructuras que mantienen a los conductores suficientemente elevados sobre el suelo y suficientemente separados unos de otros; el término torre suele estar referido a los grandes soportes de las líneas de transmisión.

Los conductores pueden estar hechos de cobre, aluminio o una aleación de aluminio y acero. En las líneas de media tensión y superiores voltajes, generalmente van desnudos (sin recubrimiento), mientras que en las líneas áreas de distribución de baja tensión se suelen utilizar cables trenzados recubiertos de material aislante (Figura 2.7).

El uso de conductores protegidos/cubiertos o cables aislados en líneas de distribución aérea de media y alta tensión está limitado por su mayor costo, son más caros y, al pesar más, se necesitan un mayor número de soportes. Este tipo de conductores se utiliza normalmente para tensiones menores de 35 kV, si bien en el mercado existen cables capaces de soportar hasta 132 kV. Son una alternativa cuando es muy costosa la construcción de líneas subterráneas o por circunstancias locales o particulares: zonas boscosas para prevención de incendios forestales, zonas con fuertes vientos, áreas con aves sensibles, recintos industriales, zonas de elevada polución, con temperaturas



Figura 2.7. En las líneas de media tensión y voltajes superiores los cables suelen estar desnudos; solo en determinadas circunstancias se utilizan cables cubiertos en esos voltajes. Línea de media tensión con cables cubiertos en Chile. © Mario Durán/GREFA

extremas, etc.). En zonas boscosas, dado que desaparece el riesgo de cortocircuito por contacto con las ramas, permiten la instalación de tendidos en pasillos mucho más estrechos, de manera que la franja de bosque a eliminar y mantener abierta es mucho menor. Los conductores pueden ir por separado o reunidos en un solo haz, cada fase cubierta y trenzada alrededor de un núcleo central (cable preensamblado); esta disposición sólo es posible para voltajes de hasta 30 kV (Figura 2.8).

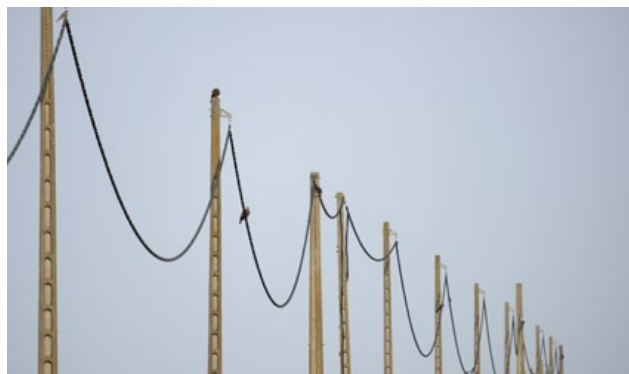


Figura 2.8. Línea de media tensión con cables trenzados y aislados en España. © Justo Martín

En varios países, como Chile, Perú, Brasil y México, existen **redes de media tensión** (MT) con configuración 3F+N (tres fases más neutro) (véase Figura 2.9). El neutro puede disponerse sobre la cruceta, por debajo o al mismo nivel de los conductores de fase; está conectado a tierra de forma repetida a lo largo de la línea y en los puntos de transformación, y su función principal es proveer el camino de retorno y estabilizar el potencial de referencia ante desbalances de carga. En áreas rurales, redes antiguas o para aplicaciones específicas, es posible encontrar en ciertos países, como Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Perú, sistemas de MT bifásicos (2F+N) o monofásicos (1F+N), habituales donde la demanda es moderada y se busca optimizar costos de inversión y operación. En algunos ámbitos rurales también se emplea el tipo de línea monofásica con retorno por tierra (SWER, *single wire earth return*, por sus siglas en inglés), según normativas locales.



Figura 2.9. En algunos países existen líneas de distribución de media tensión monofásicas que portan dos cables, un conductor y un neutro. Línea monofásica en el Parque Nacional Huerquehue, Chile. © Mario Durán/GREFA

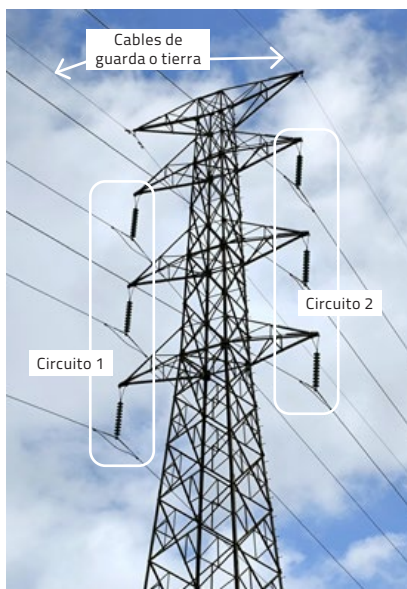
En las líneas de baja tensión (BT) se emplean configuraciones tanto monofásica (1F+N), como bifásica (2F+N o 2F, según normativa local) y trifásica (3F+N). En zonas urbanas de muchos países latinoamericanos, para obras nuevas suele ser obligatorio usar cables cubiertos/aislados por razones de seguridad (lo más común es el cable preensamblado tipo ABC, del inglés *aerial bundled cable*, un conjunto de conductores para líneas aéreas de distribución que viene “en haz” (trenzado/agrupado) y ya armado de fábrica, en lugar de llevar los conductores sueltos sobre aisladores), mientras que en muchas áreas rurales aún existen tramos con conductores desnudos. Cuando se utilizan cables cubiertos en baja tensión aérea, pueden disponerse como unipolares entrelazados (ABC) o como cables multipolares con cubierta (chaqueta) común; también es posible el tendido unipolar independiente donde la normativa lo permite.

La electricidad llega para uso doméstico a los hogares en baja tensión y de manera monofásica a través de dos cables, una fase y un neutro (que actúa como retorno del circuito), derivados a partir de un transformador al que llega un circuito trifásico en media tensión. En comercios e industrias es habitual el suministro trifásico, que permite mayores potencias. Los niveles típicos en la región son, en monofásico, 120 o 127 V en gran parte de Centroamérica y el Caribe, y 220 o 230 V en la mayoría de Sudamérica; en Brasil coexisten zonas con 127 V y otras con 220 V. En trifásico son comunes 208 V (cuando el monofásico es 120 V), 380 V (220 V) o 400 V (230 V). En España los voltajes son de 230/400.³

En las líneas de muy alta tensión, por encima de los 400 kV, cada fase se divide en dos o más subconductores (mayor número a mayor tensión), que aparecen agrupados en haces o fascículos, mantenidos y separados por unas piezas especiales, los espaciadores. En esas tensiones el uso de conductores únicos obligaría a secciones muy anchas de cable, con problemas de disipación de calor, mayor riesgo de descargas parciales, menor estabilidad, etc.

Las líneas de alta y muy alta tensión tienen, además de los conductores, uno o dos cables situados por encima, los **cables o hilos de guardia o guarda** (a veces también llamados de blindaje o de tierra). Estos cables, generalmente de acero revestido de aluminio, no conducen corriente del circuito y están conectados a tierra en cada uno de los soportes de las torres (ver más adelante la toma de tierra). Su función es proteger la línea contra descargas eléctricas directas (rayos; Figura 2.10).

Figura 2.10. Elementos básicos de una línea eléctrica de transmisión de muy alta tensión. © Elaborado a partir de fotografía de Pablo G. Fernández



³ Para más información sobre denominaciones, normas, tensiones, etc., consultar las webs de los diferentes organismos reguladores de cada país.

En los últimos tiempos el cable de guarda cumple, además, otra función con el uso de cables tipo OPGW (por las siglas en inglés de *optical ground wire*) cuya función externa es similar, pero en su interior cuentan con un núcleo de fibra óptica, constituyendo un eficiente sistema para desplegar este tipo de líneas de telecomunicaciones por todo el territorio.

También las líneas de media y baja tensión pueden portar otro tipo de cables aparte de los conductores y neutros. En América Latina y España es común y regulado que soporten sistemas de telecomunicaciones, principalmente de telefonía y fibra óptica. Esta última va en los cables ADSS (cable dieléctrico autoportante, por sus siglas en inglés, *all-dielectric self-supporting*). Todos son fácilmente diferenciables de los conductores y neutros ya que van recubiertos y al no transmitir electricidad, no tienen aisladores en su unión al poste. Esta integración de sistemas optimiza el uso de la infraestructura y reduce el costo de su despliegue.

Los soportes pueden ser torres metálicas reticuladas de acero (para las líneas de alta y muy alta tensión de transmisión) o postes de metal, hormigón (concreto) armado, madera o fibra de vidrio, fijados al suelo con cimientos de concreto y/o anclas de acero (media y baja tensión). En las líneas de menor tensión muchas veces se utilizan postes retenidos o con **retenida** (cable de retenida o retención, que mantiene la tensión, llamado también tirante/template/arriostre/rienda) en los que la fijación es mediante cables de acero. La altura y configuración son muy variables y dependen principalmente del voltaje de la corriente que pasa por los conductores (Figura 2.11).

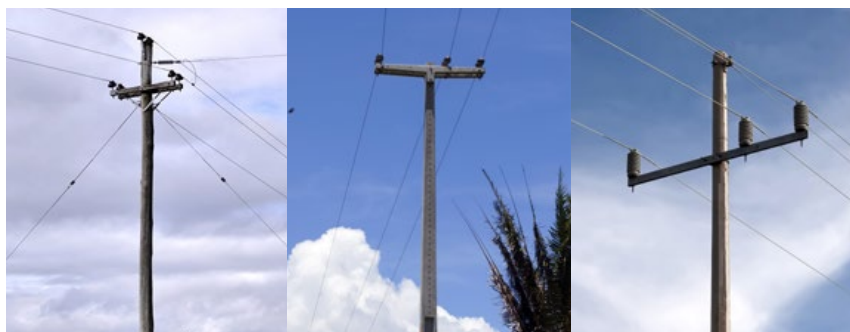


Figura 2.11. Postes y crucetas pueden estar contruidos por diferentes materiales: (izquierda) poste y cruceta de madera; (centro) poste y cruceta de concreto; (derecha) poste de concreto y cruceta metálica. © Álvaro Camiña (izq.), Pablo G. Fernández (centro) y Patricia Manzano (dcha.)

La **puesta a tierra (o toma de tierra)**, presente en todo tipo de líneas, es un sistema de protección contra rayos y sobretensiones, que proporciona seguridad tanto a la línea como a los operarios que trabajen en ella. Conecta el poste o estructura al suelo por medio de un conductor unido a una o varias varillas metálicas (o electrodos) clavadas en la tierra. Si la estructura es metálica, el conductor parte de la base de la misma; en el caso de hormigón armado (hormigón con acero), no es necesario el conductor, ya que la armadura se puede conectar directamente a tierra. Si el poste está hecho de material aislante (madera, hormigón no armado o fibra de vidrio), no es obligatorio que tenga puesta a tierra, aunque puede instalarse si la cruceta es metálica. En ese caso, la puesta a tierra consiste en un conductor desnudo que, conectado a la cruceta, descende hasta el suelo. Si la cruceta no es metálica, aunque el poste sí lo sea, no es necesaria esta conexión a tierra (Figura 2.12). Como se explica en el apéndice A, la presencia y posición de los cables neutros y de tierra son muy importantes para evaluar el riesgo de electrocución.



Figura 2.12. La puesta a tierra es un sistema de protección contra rayos y sobretensiones, que proporciona seguridad tanto a la línea como a los operarios que trabajen en ella. Puesta a tierra de un poste de media tensión. © Justo Martín

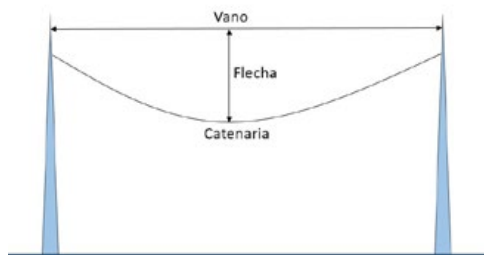


Figura 2.13. Nombres de los espacios y distancias entre soportes. © Justo Martín

La distancia horizontal libre entre dos torres o postes consecutivos se llama **vano o luz**. Esta longitud depende del tipo de línea y del tamaño de los soportes; puede ser superior a 500 m en líneas de transmisión grandes e inferior a 50 m en líneas de distribución más pequeñas. La curva creada por el cable se conoce como **catenaria** y se llama **flecha** a la distancia vertical máxima entre la recta imaginaria que une dos postes y el punto más bajo de la catenaria (Figura 2.13).

El poste se compone de dos elementos, fuste y cruceta. El **fuste** (también denominado en ocasiones columna, mástil o tubo) es la parte vertical que soporta la **cruceta**, donde se sustentan los conductores; los distintos elementos que componen la cruceta son los travesaños. Si cada conductor está sustentado por una estructura independiente, cada una de ellas recibe el nombre de brazo. En el caso de postes con derivaciones (inicio de una nueva línea desde ese poste), se distingue entre cruceta principal, la que lleva el circuito principal, y cruceta auxiliar o secundaria, donde se instalan los elementos de la derivación; también recibe este nombre de cruceta auxiliar la que porta dispositivos, cuando éstos se ubican separados de los conductores.

Los conductores se sustentan en la cruceta por los **aisladores**, que los sostienen mecánicamente y separan entre sí, aislándolos del poste y evitando fugas de corriente hacia tierra. Los aisladores suelen ser de vidrio, porcelana o poliméricos. Los de vidrio y porcelana pueden disponerse como una pieza única o en conjuntos de varias unidades aislantes (discos) que constituyen una cadena de aisladores (Figura 2.14). Los aisladores poliméricos son siempre elementos de una sola pieza constituidos por un núcleo central de material sólido, normalmente fibra de vidrio, y una cubierta exterior aislante y flexible de material polimérico (silicona; Figura 2.17). A veces entre la cadena de aisladores y la cruceta se coloca una extensión metálica para aumentar la distancia entre ambos elementos. En algunos diseños el poste no tiene brazos y los aisladores se fijan a su estructura vertical.

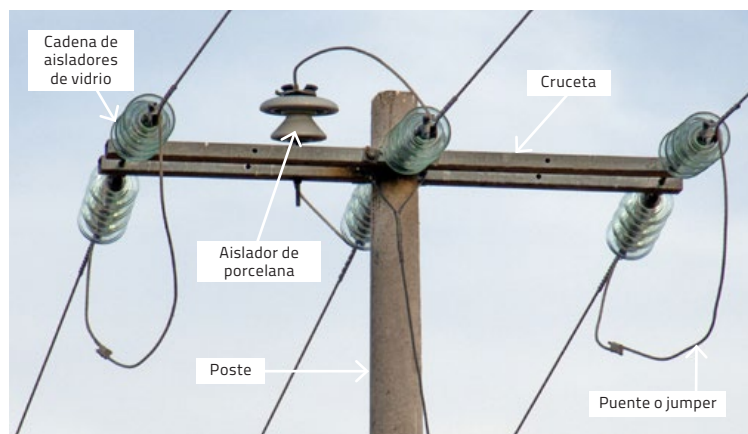


Figura 2.14. Partes de un poste de media tensión. © Elaborado a partir de fotografía de Patricia Manzano

La unión de los conductores a los aisladores y de éstos a los postes o torres, se realiza a través de unas piezas metálicas de sujeción, las **grapas o herrajes**. Sujetos a los conductores pueden aparecer otras piezas metálicas con diversas funciones, especialmente en las líneas de transmisión, como los amortiguadores de vibración (*stockbridge*) de los cables de guarda y espaciadores-amortiguadores de los conductores, o los diferentes elementos que protegen contra las sobretensiones (anillos corona, cuernos de arco, raquetas, etc.) (Figura 2.15).

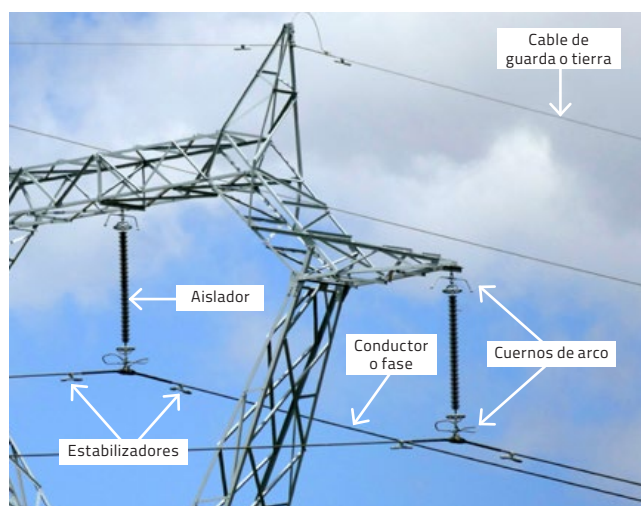


Figura 2.15. Partes de una torre de transmisión con aisladores suspendidos.
Elaborado a partir de fotografía de Justo Martín

Dependiendo de la **disposición de las cadenas de aisladores** en la cruceta (Figura 2.16), se denominan:

- Cadenas de aisladores suspendidos, de suspensión o colgantes, cuando “cuelgan” por debajo de la cruceta.
- Cadenas de aisladores rígidos, de espiga, de pin o tipo alfiler, dispuestos en posición erguida sobre el punto de sujeción.
- Cadenas de aisladores de anclaje, amarre, retenida, retención o tensión, cuando a la vez que sujetan el conductor soportan el tensado de la línea, disponiéndose en horizontal a ambos lados de la cruceta.

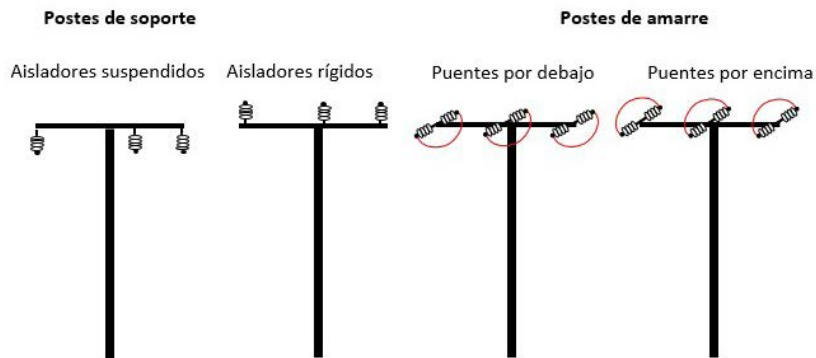


Figura 2.16. Tipos básicos de postes de media tensión en función de la disposición de las cadenas de aisladores. © Justo Martín

En el caso de los aisladores de anclaje, amarre o retención, la continuidad eléctrica entre los extremos de las cadenas de aisladores se realiza mediante unos cables denominados **puentes de unión, conexión o “jumpers”** (puentes flojos de amarre es la denominación más usada en España), dispuestos por encima o por debajo de las cadenas, de forma que se evite el contacto entre el puente y cualquier parte de la cruceta o poste; a veces se coloca un aislador en mitad del puente para garantizar esa separación (Figuras 2.14 y 2.17). Las conexiones en los puentes se realizan por medio de unas abrazaderas especiales de compresión. La función de los puentes es transmitir la energía eléctrica de un lado al otro del poste sin trasladar los esfuerzos mecánicos.

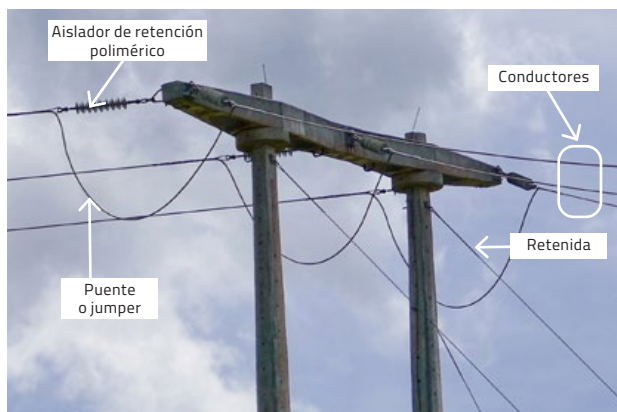


Figura 2.17. Sistemas de fijación y conexión en un poste de distribución.
© Elaborado a partir de fotografía de Álvaro Camiña

La longitud de las cadenas de aisladores depende del voltaje que circule por los conductores; a mayor voltaje se necesita una mayor longitud para garantizar el aislamiento y, por tanto, asegurar una mayor separación entre los cables para evitar las descargas, lo que requiere a su vez una mayor dimensión de los soportes. Así, la altura de éstos varía entre los 10 m (o menos) de las líneas de distribución menores hasta los más de 50 m de las torretas de 400 KV o los más de 100 m para las torres de muy alta tensión que transportan líneas de 1 000 kV.

Además de conductores y aisladores, los postes pueden llevar **dispositivos de corte o maniobra y protección**. Los dispositivos de corte o maniobra sirven para dejar sin tensión (desenergizar) partes de una instalación o tramos de una línea para trabajar sobre ella de manera segura. Los de protección protegen ante sobrecargas y cortocircuitos, ya sea en un tramo de línea o un elemento determinado. Algunos dispositivos cumplen las dos funciones. Los más comunes son los siguientes:

- **Seccionadores tipo cuchilla.** Son los dispositivos de corte o maniobra más frecuentes. Si actúan sobre una fase se denominan unipolares y si actúan sobre las tres a la vez, tripolares. Incorporan aisladores poliméricos o de porcelana, dispuestos por fase. No son aptos para carga. Pueden estar montados de forma fija en la parte superior de la cruceta, suspendida de ella, sobre una cruceta auxiliar o directamente sobre el poste (Figura 2.20).
- **Fusibles.** Protegen contra sobrecargas y cortocircuitos interrumpiendo el flujo eléctrico si la corriente supera un valor determinado; pueden montarse en una estructura aparte, en el mismo poste que los seccionadores o en un poste contiguo.
- **Cortacircuitos fusible tipo expulsión (*cutout*) o seccionador-fusible.** Sustituyen a los seccionadores y fusibles, realizando el mismo dispositivo la doble función; permiten la maniobra a la vez que protegen ante sobrecargas y cortocircuitos mediante el fusible que incorporan (Figuras 2.18 y 2.19).
- **Pararrayos, descargadores de sobretensión, apartarrayos o autoválvulas.** Realizan la función de pararrayos, derivando a tierra sobretensiones de origen atmosférico. Protegen equipos sensibles, como transformadores y otros dispositivos (reconectadores, seccionalizadores), contra sobretensiones transitorias al desviar la corriente hacia tierra. Aparecen en ciertos tipos de postes, con CTI u otros dispositivos, en los de paso aéreo-subterráneo, etc. (Figuras 2.19 y 2.20).

- **Gaps de chispa o cuernos de arco.** Tienen la misma función que los anteriores, proteger de sobretensiones. Se instalan acompañándolos, como protección adicional, o como único sistema de protección, debido su mayor sencillez y menor costo.

Los elementos de maniobra y protección podemos encontrarlos en solitario, a lo largo de una línea o en las derivaciones, permitiendo la individualización de diferentes tramos. También sobre postes especiales que portan otros dispositivos, para su protección y manejo.

En los postes donde tiene lugar el paso del voltaje de media a baja tensión se encuentra el **transformador de poste, de montaje aéreo o de intemperie (CTI)** (Figura 2.19), elemento encargado de esa conversión. Normalmente se encuentra montado sobre el poste o en una cruceta secundaria inferior, protegido por seccionadores y pararrayos dispuestos en la cruceta principal o en una cruceta auxiliar. El transformador también puede alojarse dentro de una construcción específica, la caseta de transformación, construida de ladrillo u otros materiales.

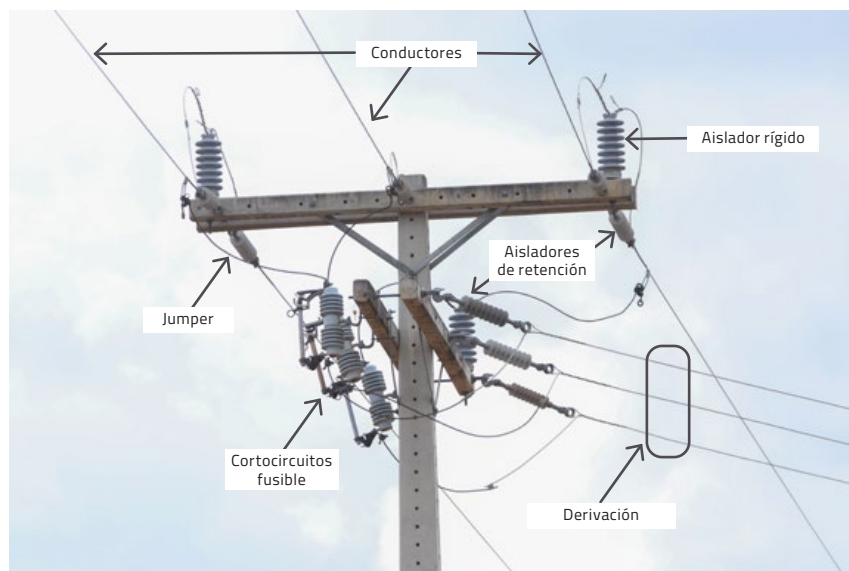


Figura 2.18. Poste de amarre con derivación provisto de elementos de maniobra y protección. © Elaborado a partir de fotografía de Larissa D. Biasotto

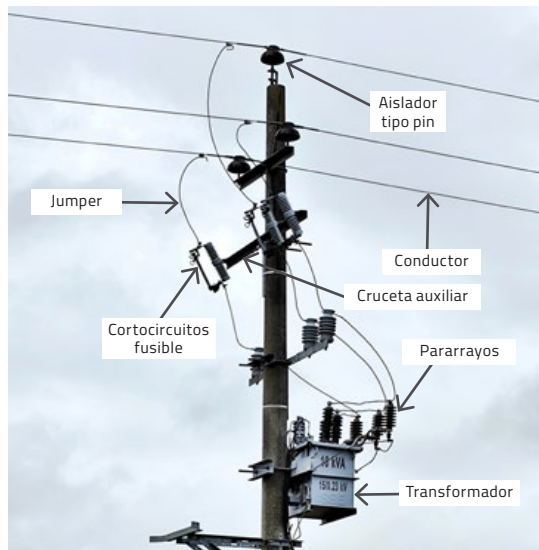


Figura 2.19. Poste con derivación a un transformador.
© Elaborado a partir de fotografía de Pablo G. Fernández

En su trayecto hacia los centros de transformación construidos en recintos específicos, las líneas eléctricas aéreas pueden pasar a instalaciones subterráneas o mantenerse de forma aérea. Si se da de manera subterránea, el paso se realiza en unos postes especiales, **postes de transición, bajada, acometida subterránea o paso aéreo-subterráneo**, donde el cable aéreo desnudo se conecta a un cable subterráneo aislado. La estructura de conexión donde se realiza esa transición se denomina terminación o botella terminal (Figura 2.20).

Algunos ejemplos de otros dispositivos que podemos encontrar en los postes son:

- **Interruptor-seccionador bajo carga** (LBS, por sus siglas en inglés para *load break switch*). Sustituye a los seccionadores como dispositivo de maniobra. Es un dispositivo de corte y aislamiento en envoltura hermética, especialmente diseñado para operación remota. Se monta sobre el poste o en una cruceta auxiliar se conecta mediante cableado a otros elementos (Figura 2.21).
- **Reconectador (*recloser*)**. También montado sobre el poste o cruceta auxiliar, es un interruptor con capacidad de reconexión automática. Es un dispositivo de protección capaz de detectar una sobrecorriente, interrumpirla y reconectar automáticamente el servicio para reenergizar la línea si la falla es transitoria.

- **Regulador de tensión.** De montaje similar a los dos anteriores, su función consiste en mantener una tensión de salida estable ante variaciones en la tensión de entrada.
- **Seccionalizador automático.** Dispositivo que distingue entre fallas transitorias y permanentes, aislando y desconectando automáticamente una línea solo en el último caso. Se instalan en lugar de los seccionadores-fusibles cuando existe un alto riesgo de interrupciones.

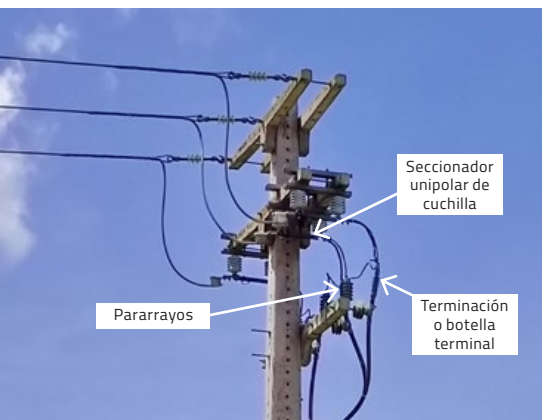


Figura 2.20. Poste de transición aire-tierra.
© Elaborado a partir de fotografía de Álvaro Camiña



Figura 2.21. Poste con interruptor-seccionador montado en el fuste. © Justo Martín

2.3. Tipos de soportes

La estructura y el tamaño de los soportes varían según el voltaje, la orografía, la longitud del tramo y el tipo de torre. Las estructuras en las que las fases se disponen en diferentes planos son más altas que aquellas en las que las fases están dispuestas en un mismo plano horizontal, ya que la fase inferior debe mantener una distancia mínima al suelo.

A medida que aumenta el voltaje, las fases deben estar separadas por una distancia mayor para evitar cualquier posibilidad de interferencia o arco eléctrico entre ellas. Por lo tanto, las torres y postes de mayor voltaje son más altos y tienen estructuras horizontales más anchas que los de menor voltaje (Figura 2.22).



Figura 2.22. Torre de transmisión de muy alta tensión (izquierda) © Pablo G. Fernández; torre de distribución de alta tensión (centro) © Darío Correa; poste de distribución de media tensión (derecha) © Francisco Santander

Las alturas de los postes varían desde 10 a 12 m para líneas de distribución de media tensión hasta más de 30 m para torres de líneas de transmisión; en algunos casos (líneas en condiciones topográficas especiales o que transportan tensiones ultraelevadas), las torres pueden tener más de 100 m de altura.

Como se verá en los siguientes capítulos, **el riesgo para la fauna depende en gran medida del tamaño y estructura de los postes y torres**, como ya hemos visto, **condicionado por la tensión de la línea que soportan**. En los postes de menor tensión el principal riesgo es la electrocución, mientras que en las torres de mayor tensión es la colisión con los cables.

Los postes, apoyos, torres o estructuras se pueden clasificar de diferentes formas:

- **Según su posición relativa en la línea:**

De alineación o tangentes. Apoyo de suspensión, amarre o anclaje dispuestos en un tramo más o menos rectilíneo de la línea.

De ángulo. Apoyo de amarre o anclaje colocado en un ángulo del trazado de la línea, en un cambio de dirección. Presentan una cimentación especial, ya que por su ubicación tienen que soportar fuertes tracciones. Pueden incorporar retenidas (arriostres/riendas) según el esfuerzo.

Terminales (fin de línea). En ellos la línea pasa a subterránea o cambia de nivel de tensión. Están sometidos a esfuerzos transversales elevados, por lo que emplean cadenas de amarre y cimentación especial. Según el diseño, pueden portar equipo como seccionadores, cortacircuitos fusibles tipo expulsión (*cutout*), transformadores de distribución, etc.

- **Según su función en la línea:**

De soporte o suspensión. Su función es sostener los conductores y cables de guarda y mantenerlos alejados del suelo. Son el tipo de soporte más numeroso, dominante en tramos rectos de línea.

De anclaje, amarre, retenida o retención. Proporcionan puntos firmes en la línea, manteniendo la tensión del cableado y protegiéndola de esfuerzos excepcionales. Presentan a ambos lados cadenas de aisladores conectadas por puentes flojos dispuestos por encima o por debajo de ellas. De esta manera se evita la transmisión de los esfuerzos entre el trazado entrante y saliente. Se ubican al principio o fin de línea, en cambios de dirección (situaciones en ángulo) o en tramos rectos, sustituyendo a los de suspensión cada cierta distancia en función de la naturaleza y topografía del terreno.

Especiales. Con función diferente a los anteriores, soportan equipos de maniobra, protección o transformación (p. ej., interruptor-seccionador -LBS-), corta-circuito fusible tipo expulsión, pararrayos/descargadores, reconectador (*recloser*), transformador de distribución, etc.). También se incluirían aquí los de acometida subterránea, los de derivación (toma) o bifurcación (que derivan la línea en una o más direcciones), los de entronque (cuando una línea de doble circuito se separa en dos líneas de simple circuito) o los de cruce, especialmente diseñados para cruzar vías férreas, ríos, carreteras, líneas de telecomunicaciones, etc. Figura 2.23).

Se puede hacer **una clasificación más detallada atendiendo a otros factores como la forma de las crucetas, la disposición de los aisladores y otros elementos** sobre ellas y la presencia en el poste de diferentes dispositivos. El conocimiento de esta terminología es importante a la hora de identificar, describir y caracterizar un poste concreto, evaluar su peligrosidad para las aves y seleccionar las medidas idóneas para amortiguarla o eliminarla, de manera que es una información de referencia muy importante para el uso de este manual. **Los grandes tipos básicos son los siguientes (ver la sección II del apéndice A para un mayor detalle de esta clasificación y soporte gráfico):**



Figura 2.23. Poste especial, de derivación, equipado con cortacircuitos fusibles de expulsión. © Rick Harness

- Postes de soporte con cadenas de aisladores de suspensión, colgantes de la cruceta.
- Postes de soporte con aisladores rígidos tipo pasador (pin), tipo poste (post) o espiga, dispuestos sobre la cruceta.
- Postes de anclaje (tipo amarre) con puentes de continuidad (*jumper* o *by-pass*) bajo las cadenas de anclaje/tensión.
- Postes de anclaje (tipo amarre) con puentes de continuidad (*jumper* o *by-pass*) sobre las cadenas de anclaje/tensión.
- Postes equipados de maniobra, con seccionadores de cuchilla o cortacircuito fusible tipo expulsión (*cutout* o XS) montados en la cruceta, sin otro equipamiento.
- Postes equipados con diferentes dispositivos, bien un transformador de distribución, acompañado de dispositivos de protección y maniobra (fusibles, seccionadores, pararrayos), o bien, en lugar del transformador, equipamientos de maniobra, protección o control, por ejemplo, interruptor-seccionador (LBS), reconectador (*recloser*), seccionalizador, etc.
- Postes de transición aéreo-subterránea o de acometida subterránea.
- Postes de derivación/bifurcación o de desvío/entronque.

3

Impacto de las líneas eléctricas en la naturaleza

Justo Martín Martín¹, Lourens Leeuwner² y Gareth Tate²

¹ *JMM Consultant (consultor independiente)*

² *Wildlife & Infrastructure Unit, The Endangered Wildlife Trust, Sudáfrica*

Las líneas eléctricas provocan varios tipos de impactos en el territorio por el que transcurren (ver revisiones Negro, 1999; Ferrer, 2012; Biasotto y Kindel, 2018; Bernadino et al., 2018; Bennett et al., 2025), principalmente:

- a) Impactos sobre el paisaje
- b) Cambios en la estructura del hábitat
- c) Contaminación atmosférica y acústica
- d) Interacciones con la fauna

Esta incidencia sobre los ecosistemas supone un costo en términos de pérdida de biodiversidad, contaminación, degradación ambiental, etc. El costo económico que todo ello representa es difícil de precisar, aunque algunas evaluaciones lo estiman en cientos de millones de euros al año (Soria y Guil, 2017; Guil et al., 2018; White et al., 2024).

3.1. Impactos sobre el paisaje

Las líneas eléctricas constituyen estructuras lineales y elevadas (especialmente las de transmisión) que tienen un importante impacto visual en el territorio por el que transcurren (Figura 3.1). En general, las formas geométricas de las torres y los cables que las unen suponen un **fuerte contraste en los paisajes naturales**, donde dominan las formas asimétricas. En los espacios abiertos desarbolados, ya sean agrícolas o naturales (estepas, pastizales), rompen con la horizontalidad dominante de las formas



Figura 3.1. Las estructuras de las líneas eléctricas producen un importante impacto visual en el paisaje por el que transcurren. Línea de transmisión Ita-Caixas, Brasil.
© Mozart da Silva Lauxen/IBAMA

Los corredores que se crean en ambientes forestales generalmente se consideran una causa de fragmentación y pérdida de hábitat para muchas especies que dependen de arbustos y bosques

paisajísticas. En áreas de vegetación más densa (bosques y matorrales), conllevan la creación de pasillos despejados de vegetación y por tanto de líneas de división en el paisaje. En ambos casos, soportes y cables se convierten en puntos de atención visual para el observador, constituyendo un importante elemento en la percepción del paisaje.

3.2. Cambios en la estructura del hábitat

Las líneas eléctricas necesitan discurrir por terrenos despejados, de manera que **si hay vegetación arbórea o arbustiva es eliminada para su instalación, reduciéndose en términos generales su proporción y aumentando la de vegetación herbácea**. Esto puede permitir la instalación de comunidades vegetales que de otro modo estarían ausentes o serían poco comunes, proporcionando también un hábitat adecuado para organismos asociados (Russell et al., 2005; Nekola, 2012; Garfinkel et al., 2022). Los corredores que se crean en ambientes forestales por la instalación de líneas eléctricas generalmente se consideran una causa de **fragmentación y pérdida de hábitat** para muchas especies que dependen de arbustos y bosques (Clarke et al., 2006) (Figura 3.2), ocasionando un efecto barrera para las especies de ambientes forestales cerrados. Además, estos espacios abiertos en ambientes forestales pueden servir de puerta de entrada a especies exóticas o depredadoras que puedan limitar las poblaciones de especies que requieren vegetación cerrada para su supervivencia (Biasotto y Kindel, 2018).

Sin embargo, en determinados casos, la modificación del hábitat asociada a la instalación de líneas eléctricas **podría tener algunos efectos positivos** (véase sección 3.4.1). Con una gestión adecuada, los corredores de líneas eléctricas podrían contribuir a la conservación de hábitats de pastizales seminaturales en paisajes donde estos estén alterados o degradados (Dániel-Ferreira et al., 2021). Asimismo,



Figura 3.2. Los corredores que se crean en ambientes forestales por la instalación de líneas eléctricas ocasionan fragmentación y alteración del hábitat para muchas especies que dependen de los hábitats arbóreos. Franja de servidumbre en una línea de media tensión en el Chocó, Colombia. © Darío Correa

en paisajes muy alterados se podría incrementar la biodiversidad local modificando la base de las torres de transmisión para aumentar la densidad y diversidad de varias especies de invertebrados y pequeños mamíferos, así como el número de aves y especies de aves; esto podría usarse para facilitar la conexión de poblaciones fragmentadas (Ferrer et al., 2020a). En cualquier caso, los beneficios para un grupo de especies determinado pueden darse solo en un lugar concreto, no pudiendo extrapolarse a otras especies y lugares.

3.3. Contaminación atmosférica y acústica

Las líneas eléctricas generan **campos electromagnéticos** a su alrededor al transportar la energía. El efecto de estos campos en el entorno no está muy claro todavía, y aunque la mayor parte de las investigaciones no han encontrado efectos negativos, algunos estudios apuntan a que podrían producir problemas en las aves a través de alteraciones en su comportamiento, fisiología, sistema endocrino y función inmune (Fernie y Reynolds, 2005). La exposición a los campos electromagnéticos puede alterar los órganos receptores que los animales utilizan para orientarse en el campo magnético de la Tierra, lo que podría tener implicaciones para las especies de insectos y aves migratorias y, si bien podría ser más evidente en las áreas urbanas, también se aplicaría a los animales de las zonas naturales (Balmori, 2015).

De forma indirecta contribuyen a la **contaminación atmosférica** debido a que en sus proximidades aumenta el **riesgo de incendio forestal**, siendo numerosos los casos originados por cortocircuitos generadores de chispas que inician el fuego en la vegetación circundante, bien por contacto con algún elemento de la misma, bien a través de animales que se electrocutan y caen al suelo, prendiendo fuego. Los incendios originados por esta última causa, aunque constituyen una pequeña parte del total, originan pérdidas económicas cuantiosas, tanto por los daños en la propia red eléctrica como derivadas del propio incendio, aparte de las consecuencias ecológicas del fuego en los ecosistemas afectados (Lehman, 2002; Guil et al., 2018; Barnes et al., 2022). Estos incidentes pueden afectar a grandes superficies e incluso a poblaciones humanas. Por ejemplo, en Chile un incendio presuntamente provocado por la electrocución de un ave causó la muerte de 15 personas, hirió a más de 500 y destruyó casi 3 000 viviendas (Vargas, 2016).

Las líneas eléctricas en general se relacionan también con el **aumento del efecto invernadero** debido a que en muchos aparatos electrodomésticos se utiliza como aislante el hexafluoruro de azufre (SF₆). Este gas se puede liberar de forma accidental en averías u operaciones de mantenimiento; su potencial de calentamiento atmosférico es unas 23 500 veces superior al del CO₂. Aunque de momento su contribución es baja (500 veces menos importante), podría aumentar tanto por el aumento progresivo de su utilización como su larga vida en la atmósfera, en torno a 3200 años (Widger y Haddad, 2018).

Por otro lado, las grandes líneas de transmisión generan una cierta **contaminación acústica**⁴, si bien no muy alta y sólo en sus cercanías (De Vito et al., 2024).

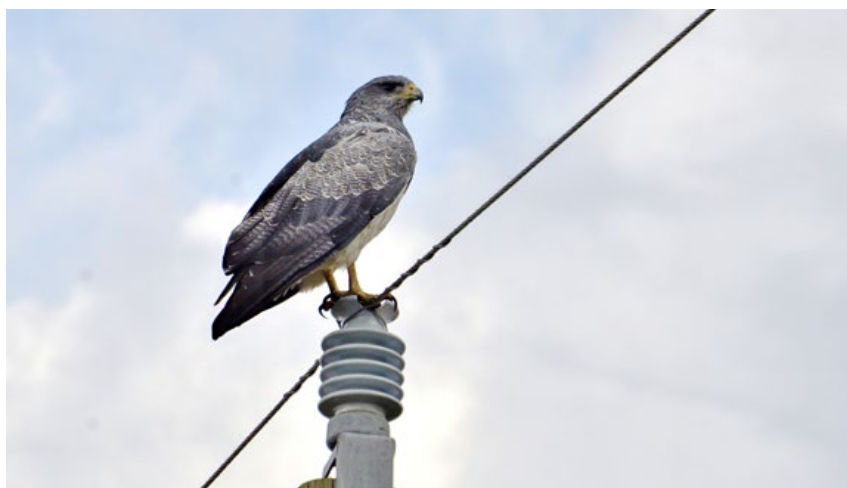


Figura 3.3. El efecto de los campos magnéticos sobre la fauna no está claro aún, aunque parece que al menos en algunos grupos zoológicos, como aves e insectos, podría dar lugar a alteraciones fisiológicas y de comportamiento. Águila mora utilizando un poste eléctrico como posadero. © Pablo G. Fernández

⁴ Debido al “efecto corona”, causado por la ionización del aire circundante a los conductores. El ruido, un zumbido de baja frecuencia semejante a un chisporroteo, es provocado por el movimiento de los iones y las descargas eléctricas que se producen.

3.4. Interacciones con la fauna

Como hace con cualquier elemento existente en el paisaje, la fauna interactúa con los tendidos eléctricos. Esa interacción puede ser beneficiosa, favoreciendo incluso la presencia de ciertas especies, o perjudicial, representando una importante amenaza para la viabilidad de sus poblaciones.

Entre los diferentes grupos zoológicos que interactúan con las líneas eléctricas, la avifauna es, con diferencia, quien lo hace de una manera más evidente, aunque en ambientes forestales también lo hacen en gran medida los mamíferos de hábitos arborícolas. Y aunque algunas interacciones son positivas, en general la presencia de líneas eléctricas en el paisaje representa una amenaza para muchas especies. Esta amenaza no hará sino aumentar en el futuro como resultado de la creciente demanda de electricidad y la consiguiente expansión de la red de líneas eléctricas (ver revisiones APLIC, 2006; Lehman et al., 2007; Prinsen et al., 2011a; APLIC, 2012; Ferrer, 2012; Loss et al., 2014; Biasotto et Kindel, 2018; Eccleston y Harness, 2018). La interacción de la fauna con las líneas eléctricas repercute además sobre éstas, causando problemas en la seguridad y en el suministro eléctrico.

3.4.1. Interacciones positivas

La presencia de líneas eléctricas en el paisaje puede tener beneficios directos sobre las aves por varios motivos (ver revisiones APLIC, 2006; Prinsen et al., 2011a):

Hábitat favorable

En zonas con abundante cobertura vegetal la eliminación de la vegetación por debajo de las líneas eléctricas favorece la presencia de **especies propias de medios más abiertos**, que amplían su distribución a lo largo de esos trayectos, que funcionan como auténticos corredores para ellas. Los pasillos que se crean pueden ser también aprovechados para realizar medidas de enriquecimiento del hábitat (creación de pequeñas charcas, plantación de árboles y arbustos frutales, instalación de nidos para aves medianas y pequeñas) que supongan un beneficio para las aves y otros grupos zoológicos (Wagner et al., 2019; Ferrer et al., 2020a).

Oportunidades para anidar, posarse y descansar

Las líneas eléctricas ofrecen a una gran variedad de aves opciones para anidar, posarse y descansar o como oteaderos de caza (ver, por ejemplo, APLIC, 2016 y Morelli et al., 2014; Figura 3.4). **En paisajes donde los árboles altos o roquedos son escasos y hay una disponibilidad limitada de sitios adecuados** para anidar o posarse, algunas especies de aves pueden ocuparlos o mantenerse en ellos en gran medida debido a la presencia de las líneas eléctricas. Además de un soporte robusto ofrecen una **buena protección frente a depredadores terrestres**. Este uso puede ser tanto por parte de aves grandes como medianas y pequeñas, estas últimas aprovechando los recovecos que ofrecen algunos elementos o incluso aprovechando los grandes nidos de las primeras como sustrato propio de nidificación.



Figura 3.4. Las rapaces son uno de los grupos de aves más gravemente afectados por las electrocuciones por su selección de los apoyos eléctricos como posaderos. Juvenil de chimango (*Milvago chimango*) posado en un poste eléctrico, Chile. © Félix Romera

Incluso han facilitado la expansión de algunas especies por nuevos territorios o el incremento de sus densidades locales. Este último es el caso de la cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*) en el suroeste de Europa (Garrido y Fernández-Cruz, 2003), comprobándose además que el éxito reproductor de las parejas que los utilizan no difiere de las que crían sobre sustratos naturales (Tryjanowski et al, 2009). En Sudáfrica, la provisión de sitios de nidificación ha facilitado, en cierta medida, la expansión del área de distribución del águila marcial (*Pomaroetus bellicosus*) en paisajes semiáridos con escasez de árboles, de manera que una importante proporción de la población reproductora anida en torres de alta tensión (Berndt, 2015).

Pero a la par que beneficio, como se expone más adelante, **una especie puede también sufrir mortalidad derivada de esa utilización, de manera que el impacto neto a nivel de población requiere una evaluación** de las compensaciones entre

los impactos positivos y negativos (Mainwaring, 2015; Moreira et al., 2017; D'Amico et al., 2018), pues los pretendidos beneficios sobre la diversidad y conservación de las especies pueden ser sólo aparentes en algunas situaciones (De Goede y Jenkins, 2001). En estos casos, los posibles efectos positivos pueden potenciarse implantando medidas antielectrocución y/o anticolidión eficaces que eliminen o reduzcan al mínimo la mortalidad de las aves que utilizan las líneas eléctricas (Nygård et al., 2023; Figura 3.5).

Ese efecto beneficioso sobre unas especies puede resultar negativo para otras que habitan esos ecosistemas. Una mayor presencia de aves predatoras propiciada por la existencia de líneas eléctricas (por los factores mencionados anteriormente) coloca a sus especies presa bajo una presión adicional que no existiría en ausencia de posaderos naturales en el paisaje, como se ha podido comprobar en córvidos (Coates et al., 2020) y algunas rapaces (Bevanger, 1998; De Goede y Jenkins, 2001; Lasch et al., 2010). Además, la línea puede suponer un peligro para los propios predadores si el diseño de los postes es riesgoso para la fauna.



Figura 3.5. En Europa occidental, la cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*) es una especie que se ha visto muy favorecida por las líneas eléctricas, ya que las utiliza ampliamente para nidificar y formar grandes colonias. Sin embargo, a la vez sufre una elevada mortalidad por este tipo de infraestructuras. © Justo Martín

Esta presión artificial también puede afectar al mundo vegetal. En África, varias especies de la familia de los tejedores (Ploceidae) aprovechan las torres de las líneas eléctricas para instalarse en grandes colonias, llegando a darse densidades artificialmente elevadas de estas aves. Estas aves son granívoras, lo que puede dar lugar a una reducción a gran escala de la reserva de semillas del suelo o, si prefieren determinadas especies, provocar desequilibrios en la diversidad de la comunidad vegetal. (Harebottle y Oschadleus, 2014).

3.4.2. Interacciones negativas

Efecto barrera

Las líneas eléctricas, junto a otras construcciones como autopistas, canales o ferrocarriles, se agrupan en las denominadas **infraestructuras lineales** que, por su naturaleza, provocan lo que se conoce como efecto barrera, alterando las pautas de movimiento de la fauna en los espacios que atraviesan (Serratosa et al., 2024).

Sobre todo, **las grandes líneas de transporte constituyen una barrera física para los desplazamientos diarios y estacionales de las aves**; el mayor gasto energético que supone su evitación o cruce podría modificar los patrones de vuelo de algunas especies (Pruett et al., 2009; Raab et al., 2011) o incluso cambiar el patrón de desplazamientos estacionales de las especies afectadas, como se ha apuntado para el caso de la avutarda en España (Palacín et al., 2017).

Este efecto barrera se extiende desde unas pocas decenas de metros hasta aproximadamente un kilómetro de los cables aéreos (estimadas realizadas por Benítez-López et al., 2010, a partir de observaciones de 200 especies de aves). **Algunas especies** de aves de medios abiertos **son muy sensibles a la introducción de estos elementos verticales en el paisaje**, provocando desplazamientos locales en sus áreas de distribución (Figura 3.6). Así, se ha comprobado que las líneas de transmisión eléctrica son evitadas activamente por el sisón común (*Tetrax tetrax*) en Portugal (Silva et al., 2010; Marques et al., 2025), el urogallo de las artemisas (*Centrocerus urophasianus*) y el urogallo chico (*Tympanuchus pallidicinctus*) en EE. UU. (Gillan et al., 2013; Plumb et al., 2019) y el ánsar piquicorto (*Anser brachyrhynchus*) en Dinamarca (Larsen y Madsen, 2000). En Islandia se comprobó para varias especies que la densidad de nidos era mucho menor en las cercanías de las líneas eléctricas, aumentando con la distancia a ellas (Pálsdóttir et al., 2022).

El efecto barrera está también documentado en algunas especies de mamíferos, como el reno (*Rangifer tarandus*) y el alce (*Alces alces*), conociéndose casos de cambios en sus rutas migratorias habituales tras la instalación de líneas eléctricas en los espacios que atraviesan (Colman et al., 2012; Bartzke et al., 2015). Algunas investigaciones sugieren que los insectos podrían verse afectados por la exposición excesiva a intensos campos electromagnéticos (Shepherd et al., 2018).

Figura 3.6. La acumulación de tendidos eléctricos en un mismo lugar da lugar a auténticas barreras que pueden interferir los movimientos de la fauna. Zona de concentración de líneas eléctricas en Ecuador. © Álvaro Camiña



Mortalidad directa

Probablemente los impactos más conocidos que producen las líneas eléctricas sobre la fauna sean los relacionados con la mortalidad de aves por electrocución en los postes de media y alta tensión y por colisión con los cables; más rara y prácticamente anecdótica es la muerte por enganche.

Muchas especies de aves son especialmente vulnerables a la electrocución por el uso frecuente que hacen de los soportes de las líneas eléctricas como lugares para posarse e incluso para nidificar; ello conlleva un aumento de la probabilidad de electrocución por contacto simultáneo entre dos puntos con diferente tensión (ver sección 4.1). **Las de mayor tamaño son las más afectadas**, ya que la longitud de sus alas facilita que se produzcan esos contactos simultáneos; pero también especies de mediano y relativamente pequeño tamaño pueden morir por esta causa, así como integrantes de otros grupos zoológicos (ver sección 4.3).

Figura 3.7. La presencia de líneas eléctricas puede representar una amenaza directa para ciertas especies de aves. Águila real (*Aquila chrysaetos*) electrocutada por una línea eléctrica en México. © Rurik List



3. Impacto de las líneas eléctricas

Figura 3.8. Las líneas eléctricas de distribución concentran la mortalidad por electrocución debido a la menor separación entre conductores y elementos del poste. Línea de distribución en Brasil. © Álvaro Camiña



El problema de la **electrocución** se concentra en las líneas de media tensión, correspondientes en su mayor parte a las líneas de distribución, por la menor separación entre conductores, menor longitud de los aisladores, la propia configuración de los postes y los dispositivos que portan (Dixon, 2016; ver capítulo 4; Figura 3.8).

La **colisión** afecta sobre todo a aves de tamaño mediano-grande con baja capacidad de maniobra en vuelo. Esta mortalidad se produce en todo tipo de líneas, aunque suele ser más frecuente en las líneas de alta y muy alta tensión, correspondientes en su mayoría a las redes de transmisión; por contra, el riesgo de electrocución en ellas es muy reducido debido a la gran separación entre conductores y elementos de la torre (ver capítulo 5).

La muerte por **enganche** sucede muy raramente (Olendorff et al., 1981). Se conocen casos de aves que, al posarse en un poste, quedan enganchadas con algún elemento del mismo por sus patas (más raramente por las alas) o por algún elemento que porta el ave, como anillas de identificación (Gangoso y Palacios, 2002). El animal acaba muriendo colgado, sin poder soltarse, o tras las heridas que se produce al liberarse. A veces no es fácil distinguir el enganche de una electrocución, pues en éstas es frecuente que el ave quede colgando de una manera similar; también ocurre que en un principio el ave se engancha, pero luego se electrocuta en los movimientos para intentar liberarse (Figura 3.9).

Se tiene constancia de incidentes de este tipo de varias especies en Europa, como cernícalo primilla (*Falco naumanni*), águila pescadora (*Pandion haliaetus*) o milano real (*Milvus milvus*), casi siempre más bien de manera anecdótica (obs. pers.). Se conocen



Figura 3.9. La muerte por enganche es rara; normalmente cuando se observa un ave muerta enganchada en un poste la causa ha sido la electrocución; el fuerte espasmo muscular que produce la corriente eléctrica hace que con frecuencia la garra se cierre fuertemente sobre el cable. Aguilucho variable (*Geranoaetus polyosoma*) enganchado sobre una cruceta de un poste de distribución (Cacayaco, Perú). © Pedro Eduardo Allasi Condo

también casos de enganches en cables trenzados, con dispositivos anticollisión y con cuerdas que cuelgan de las patas de las aves y se enrollan a los conductores próximos a donde se posan (obs. pers.). Más allá de la anécdota, localmente y en poblaciones reducidas los enganches pueden tener un efecto importante; este es el caso registrado a principios del siglo XXI en las islas Canarias, donde la escasa subespecie canaria de alimoche (*Neophron percnopterus* subsp. *majorensis*) sufrió varias bajas por esta causa. El enganche se producía con los dispositivos estabilizadores de los cables de tierra, que finalmente fueron sustituidos por otros modelos de diseño seguro frente a este problema (Gangoso y Palacios, 2002).

A nivel global, no existe una recopilación precisa del número de especies que han sufrido mortalidad por líneas eléctricas. En el caso de las aves, valorando diversos estudios realizados en diferentes países y ámbitos geográficos, la cifra probablemente supera las 400 especies teniendo en cuenta que hay amplias áreas del mundo para las cuales la información es todavía muy escasa y que el número de las potencialmente sensibles es mucho mayor (RPS, 2021; Guil y Pérez-García, 2022). En mamíferos hay más de 70 especies confirmadas, aunque el número de especies potencialmente sensibles es también de varios cientos (ver sección 4.3).

En Latinoamérica, hay registros de mortalidad directa por líneas eléctricas de al menos 85 especies de aves pertenecientes a 34 familias (Rebolo-Ifrán et al., 2023), **siendo además la parte del mundo que concentra el mayor número de especies de mamíferos potencialmente sensibles** (Puebla, 2023).

En la Tabla 3-1 se muestra el grado de afección general de esta problemática para los principales grupos de aves.

Tabla 3-1. Gravedad de los impactos (reales o potenciales) en las poblaciones de aves: mortalidad por electrocución y colisiones con líneas eléctricas para diferentes familias de aves en Eurasia. 0 = ninguna víctima reportada o probable; I = muertes reportadas, pero sin amenaza aparente para las poblaciones de aves de esa familia; II = elevadas pérdidas regionales o locales, pero sin impacto significativo en el estado de conservación general de la especie; III = las bajas son un factor de mortalidad significativo que amenaza a una especie en peligro a nivel regional o a mayor escala.

Grupo de aves	(a) víctimas de electrocuciones	(b) víctimas de colisiones
Grupo de aves		
Somormujos, zambullidores y macaes (Podicipedidae)	0	II
Pardelas y petreles (Procellariidae)	0	II
Piqueros (Sulidae)	0	I
Pelicanos (Pelicanidae)	I	II-III
Cormoranes (Phalacrocoracidae)	I	I
Garzas y mirasoles (Ardeidae)	I	II
Cigüeñas (Ciconidae)	III	II
Ibis y bandurrias (Threskiornithidae)	I	II
Flamencos (Phoenicopteridae)	0	II
Patos, gansos, cisnes (Anatidae)	0	II
Aves rapaces diurnas (Accipitriformes y Falconiformes)	II-III	I-II
Perdices, codornices (Galliformes)	0	II-III
Pollas de agua, gallaretas (Rallidae)	0	II
Grullas (Gruidae)	0	III
Avutardas (Otidae)	I	III
Playeros, chorlos y otras aves limícolas (Charadriidae y Scolopacidae)	I	II-III
Skúas (Stercorariidae), láridas y gaviotas (Laridae)	I	II
Gaviotines (Sternidae)	0-I	I-II
Araos (Alcidae)	0	I
Gangas (Pteroclididae)	0	II
Palomas y torcazas (Columbidae)	I-II	II
Cucos (Cuculidae)	0	I-II
Búhos y lechuzas (Estrigiformes)	II-III	II
Atajacaminos (chotacabras (Caprimulgidae) y vencejos (Apodidae)	0	I-II
Abubillas (Upupidae) y martines pescadores (Alcedinidae)	I	I-II
Abejarucos (Meropidae)	0-I	I-II
Carracas (Coraciidae) y loros (Psittacidae)	I-II	I-II
Carpinteros (Picidae)	I	I-II
Cuervillos, urracas (Corvidae)	II	I-II
Pájaros cantores pequeños y medianos (Passeriformes)	I	I-II

Fuente: Prinsen et al., 2011a; Derouaux et al., 2020

La mortalidad asociada a las líneas eléctricas no se distribuye uniformemente, sino que se concentra en ciertas zonas de la red eléctrica conocidas como "puntos críticos de mortalidad" o "puntos negros"

En cualquier caso, la mortalidad asociada a las líneas eléctricas no se distribuye uniformemente, sino que se concentra en ciertas zonas de la red eléctrica conocidas como "puntos críticos de mortalidad" o "puntos negros". En los capítulos 4 y 5, dedicados a la electrocución y la colisión, se aborda con detalle la problemática de esa mortalidad y las medidas existentes para su prevención y mitigación.

3.4.3. Impacto sobre las especies sensibles

Son pocos los países donde se han hecho estimaciones de la mortalidad que producen las líneas eléctricas. **En la mayoría de las ocasiones solo hay estudios o informaciones sobre casos concretos, casi siempre referidos a aves.** Además, hay un importante sesgo en cuanto a la procedencia de los estudios, ya que más del 80% se han llevado a cabo en países del Norte Global, principalmente en Europa y Norteamérica. Para Oceanía no hay estudios sistemáticos y muy pocos para Sudamérica, Asia y África, existiendo grandes áreas en las que no se han realizado estudios o cuyos datos son inaccesibles (Guil y Pérez-García, 2022).

Los datos y estimaciones que se derivan de ellos apuntan a que la mortalidad que producen las líneas eléctricas es global y de una magnitud enorme, y dada la expansión casi exponencial que se prevé de las líneas eléctricas a escala mundial, solo cabe esperar que aumente. Por poner un ejemplo, en un reciente estudio sobre mortalidad de aves en la ruta migratoria África-Eurasia a partir de ejemplares marcados, se ha comprobado que casi la mitad de las muertes de aves registradas tenían como causa las líneas eléctricas (Serratosa et al., 2024). En la Tabla 3-2 se muestran algunas cifras aportadas por diferentes estudios en varios países del mundo.

Aunque es difícil cuantificar el alcance del impacto de esta mortalidad en las poblaciones de aves afectadas, numerosos estudios demuestran que llegan a producir **cambios en la distribución geográfica, al menos a escala local, erigiéndose en uno de los principales factores de regresión de poblaciones y subpoblaciones de numerosas especies con problemas de conservación** (Figura 3.10).

3. Impacto de las líneas eléctricas en la naturaleza

Tabla 3-2. Estimaciones de mortalidad anual de aves por líneas eléctricas realizadas en algunos países del mundo.

País	Causa	Mortalidad anual estimada	Fuente
Alemania	Colisión	1,5 millones	RPS, 2021
Hungría	Colisión/Electrocución	100 000	Fidlóczy et al, 2014
España	Electrocución	11 000-33 000 (sólo rapaces)	Tragsatec, 2014
	Colisión	12 millones	SEO/BirdLife, 2023
Serbia	Colisión/Electrocución	10 000-100 000	Prinsen et al., 2011a
Francia	Colisión/Electrocución	+ 1 000 000	Faure, 1988
Países Bajos	Solo colisión	750 000-1 000 000	Renssen, 1975
Rusia	Colisión/Electrocución	10 000 000	Matsyna y Matsyna, 2011 Dwyer et al., 2023
Estados Unidos	Colisión	8-57 millones	Loss et al., 2014
	Electrocución	12-64 millones	

Fuente: indicada para cada caso en la tabla



Figura 3.10. Algunos estudios han puesto de manifiesto que la mortalidad en tendidos eléctricos es el principal problema de conservación de ciertas especies en estado de conservación desfavorable, como es el caso del águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*) en España. Juvenil de la especie electrocutado al pie de un poste. © Justo Martín

Por ejemplo, en España la electrocución es el principal factor de mortalidad no natural para algunas grandes águilas, habiendo colocado a subpoblaciones del águila perdicera o de Bonelli (*Aquila fasciata*) (Hernández-Matías et al., 2015) y águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*) al borde de la desaparición (López-López et al., 2011). Dixon et al. (2017) y Harness et al. (2008) observaron en Mongolia unas altas tasas de electrocución en poblaciones de halcón sacre (*Falco cherrug*); tan elevadas que podría estar comprometida su viabilidad a medio y largo plazo. En Sudán, un estudio (Angelov et al., 2013) estimó que en una línea cerca del mar Rojo podrían haber muerto durante 50 años unos 5 000 alimoches, siendo la causa fundamental del declive de esta especie en Oriente Medio y Europa oriental, zonas de procedencia de las aves migrantes.

En África no hay muchos estudios, pero algunos aportan datos muy preocupantes. En Sudáfrica, la electrocución es el principal problema de conservación para ciertas especies amenazadas como el buitre del Cabo (*Gyps coprotheres*), mientras que la colisión lo es para otras como la avutarda de Namibia (*Neotis ludwigii*) (Jenkins et al., 2010, 2011). En esta especie se calcula que la tasa de mortalidad oscilaría entre 4 000 y 11 900 individuos al año; dada su población, estimada entre 56 000 y 81 000 aves, es evidente que esos niveles de mortalidad no son sostenibles e inevitablemente reducirán su población (Jenkins et al., 2011; Shaw et al., 2017). En Marruecos, una inspección en una sola línea encontró, en una jornada de trabajo, 46 individuos de 5 especies diferentes de rapaces, con una tasa de mortalidad de 0,32 aves por apoyo (Godino et al., 2016). Posteriores trabajos encontraron varios puntos negros de mortalidad en diferentes partes del país, contabilizándose casi un centenar de águilas de Bonelli en una misma zona (UICN y DEF, 2020).

En Latinoamérica la información disponible es escasa y fragmentada. En una compilación reciente se han identificado, como ya se mencionó, un total de 85 especies de aves afectadas, de las cuales varias están catalogadas en categorías de amenaza por la UICN. Se ha documentado la incidencia sobre aves emblemáticas como el cóndor andino (*Vultur gryphus*) en Perú, el águila harpía (*Harpia harpyja*) en Brasil y el águila coronada (*Buteogallus coronatus*) en Argentina (Figura 3.11). Sin embargo, la información disponible no permite realizar ninguna evaluación de cómo este problema puede estar afectando a las poblaciones de esas y otras aves sensibles (Gusmão et al., 2020; Rebolo-Ifrán, 2023; ver también la sección 9.4 para el caso de otra especie en Chile).

Figura 3.11. El águila coronada (*Buteogallus coronatus*) es una de las especies de rapaces emblemáticas de Latinoamérica amenazada por la electrocución en tendidos eléctricos. Imagen de un individuo utilizando un poste como posadero en Argentina. © Gjershaug, José Hernán Sarasola y Maximiliano Galmes/CECARA



El hecho de que las aves rapaces sean uno de los grupos más afectados puede tener importantes **repercusiones no solo para sus poblaciones, sino también para los ecosistemas en su conjunto**. Por su posición en la cima de la cadena trófica, desempeñan un papel clave en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, por lo que su desaparición podría causar alteraciones importantes (O'Bryan et al., 2022).

En el caso de los mamíferos, la escasa información existente respalda la idea de que también las poblaciones de ciertas especies sufren un impacto generalizado de las líneas eléctricas, pero probablemente a mucha menor escala y de forma menos significativa. Entre los pocos países que realizan un seguimiento de esta mortalidad destaca Costa Rica, donde los casos registrados de mamíferos electrocutados llegan a ser casi tan numerosos como los de aves (Rodríguez et al., 2023; ver estudios de caso sobre Costa Rica -9.5- y primates -9.8-).

3.5. Impacto de la fauna en las líneas y el suministro eléctrico

Las variadas interacciones entre la fauna y las líneas eléctricas tienen implicaciones no solo para la seguridad de los animales sino también para la operación y manejo de las líneas, siendo a menudo causa de fallas eléctricas (Moreira et al., 2017, 2023). Con la expansión de la red eléctrica, estas interacciones son cada vez más frecuentes, lo que hace más probable que se produzcan cortes recurrentes en las redes de distribución. Las aves ocupan un lugar destacado en la lista de factores que contribuyen al bajo rendimiento de la red y a las fallas en las líneas; a veces son el origen de incendios que no solo afectan al equipamiento, sino al entorno de la línea (Minnaar et al., 2012; Burgio et al., 2014). Los daños a los dispositivos y el mantenimiento adicional debido a las interacciones negativas de las aves con la infraestructura son una realidad para las empresas eléctricas en todo el mundo (Dixon, 2016). **En algunas partes del mundo se estima que entre el 10% y el 23,5% de los cortes de energía en el sistema eléctrico son causados por incidentes con aves** (APLIC, 2012).

Las **causas** son variadas:

- Contacto entre componentes eléctricos y materiales utilizados para construir nidos
- Contacto entre conductores causado por el balanceo de un conductor cuando una gran bandada de pájaros que se ha posado en el poste sale volando

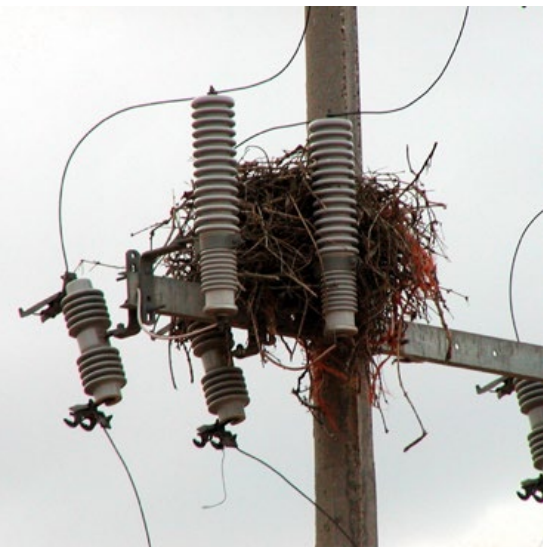


Figura 3.12. El acúmulo de materiales debido a la construcción de nidos de aves puede provocar daños en los tendidos por cortocircuitos, por contacto de esos materiales con los conductores. © Rick Harness

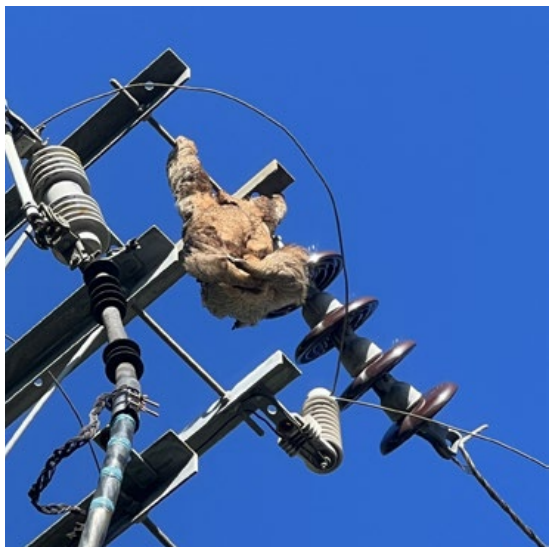


Figura 3.13 La electrocución de mamíferos arborícolas es una de las principales causas del corte del suministro en algunos países como Costa Rica. Perezoso didáctico de Hoffmann (*Choloepus hoffmanni*) electrocutado. Por Flacavet vía iNaturalist Costa Rica. CC BY-NC

- Presa o restos que caen sobre conductores o equipos eléctricos
- Acumulación de excrementos en aisladores, conductores o dispositivos
- Rotura o contacto entre conductores como consecuencia de colisiones
- Daños a aisladores o fusibles causados por electrocuciones

Las electrocuciones son la fuente más grave de problemas. Algunos estudios muestran que entre el 6 y el 55% de los eventos de electrocución provocan cortocircuitos, lo que puede dar lugar a problemas graves cuando tienen lugar en grandes líneas de distribución o en subestaciones (APLIC, 2012; Kemper et al., 2013). También hay numerosos casos de electrocución en las líneas eléctricas que suministran energía a trenes, provocando interrupciones en el tráfico ferroviario, pérdidas financieras y otros inconvenientes asociados (APLIC, 2012). Aunque la mayor parte de estas incidencias están producidas por las aves, mamíferos y reptiles (serpientes, sobre todo) pueden ser también el origen, como en Costa Rica donde son los mamíferos los que provocan la mayoría de ellas (Rodríguez et al., 2023).

Estas incidencias son costosas para las compañías eléctricas, tanto en términos económicos (por reparación de bienes dañados, retirada de nidos, gasto de tiempo en tareas administrativas, pago de indemnizaciones por cortes de suministro eléctrico, etc.) como de su propia imagen, en cuanto a la opinión de los consumidores sobre su fiabilidad y seguridad (APLIC, 2012).

La adopción de trazados que recorran las zonas menos sensibles, el empleo de diseños seguros y la implementación de medidas antielectrocución y anticolidión allí donde se vea necesario, no solo redunda en un beneficio para las aves, también garantiza el suministro eléctrico y previene las fallas en la red y las afecciones a su rendimiento.

Además de los cortes en el suministro, **la acción de algunas especies llega a producir daños en la propia infraestructura** de la red eléctrica. Un caso especial son los pájaros carpinteros. Varias especies de este grupo hacen huecos en postes de madera que luego incluso brindan refugio a otras especies animales como insectos y reptiles (Stemmerman, 1988; Harness y Walters, 2004; Murison y Leeuwner, 2018). Si es un evento puntual, no suele ocasionar problemas; pero si en un mismo poste se hacen muchos agujeros, puede acabar colapsando (Murison y Leeuwner, 2018). Esta actividad



Figura 3.14. La acción de los picamaderos en los postes de madera puede llegar a producir grandes daños económicos. Por Olekinderhook vía Wikimedia Commons. CC BY 3.0

La adopción de medidas no solo redunda en un beneficio para las aves, también garantiza el suministro eléctrico y previene las fallas en la red y las afecciones a su rendimiento

de los pájaros carpinteros puede llegar a causar graves daños, provocando importantes pérdidas económicas para las compañías eléctricas y, en ocasiones, la interrupción del suministro eléctrico (Harness y Walters, 2004; Figura 3.15). Además, pueden causar problemas de seguridad, aumentando el riesgo de electrocución para las personas y la fauna o ser el origen de incendios forestales (Murison y Leeuwner, 2018).

Un estudio realizado en Sudáfrica estimó que el 5% de 16 000 postes fueron dañados por pájaros carpinteros y tuvieron que ser reemplazados, con un costo de unos 267 000 dólares estadounidenses en un período de dos años (Meyer y Maistry, 2001; Murison y Leeuwner, 2018). A la acción de las aves se puede añadir la de algunas especies de insectos (escarabajos, termitas), que infestan los postes de madera, dañando su estructura, a pesar de los tratamientos reciben para evitarlo (Joseph, 2000; Otuko et al., 2024).

Los mamíferos de gran tamaño, como elefantes o búfalos, pueden dañar los postes de madera al utilizarlos para frotarse, limpiar/afilar sus cuernos o colmillos, deshacerse de parásitos y/o marcar sus territorios (Pretorius et al., 2016; Page-Nicholson et al., 2018). Esto puede debilitar los postes, reduciéndose la altura de los conductores con el suelo y aumentando así el riesgo de que estas u otras especies de mamíferos interactúen con ellos.

La acción de mamíferos excavadores alrededor de los cimientos de los postes puede llegar a desestabilizarlos e incluso provocar su eventual colapso, como se ha registrado con los puercoespines del Cabo (*Hystrix africaeaustralis*) en Sudáfrica (Letsoalo, 2019), el conejo (*Oryctolagus cuniculus*) en España o la rata obesa (*Psammomys obesus*) en Marruecos (obs. pers.). El reemplazo de los postes dañados antes de que el riesgo de electrocución aumente o puedan darse interrupciones en el suministro de energía implica costos elevados (Eskom-EWT Strategic Partnership, s.f.).

Por último, en ocasiones algunas especies de invertebrados construyen nidos dentro y alrededor de los transformadores, comprometiendo la buena refrigeración de los dispositivos y requiriendo mantenimiento adicional para su retirada y limpieza (Keck, 2006).

4

Electrocuciones

**Justo Martín Martín¹, Miguel Ferrer², Miguel Marco Mommens³,
Ernesto Álvarez³ y Virginia Morandini²**

¹ *JMM Consultant (consultor independiente)*

² *Estación Biológica de Doñana- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EBD-CSIC), España*

³ *Grupo de Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat (GREFA), España*

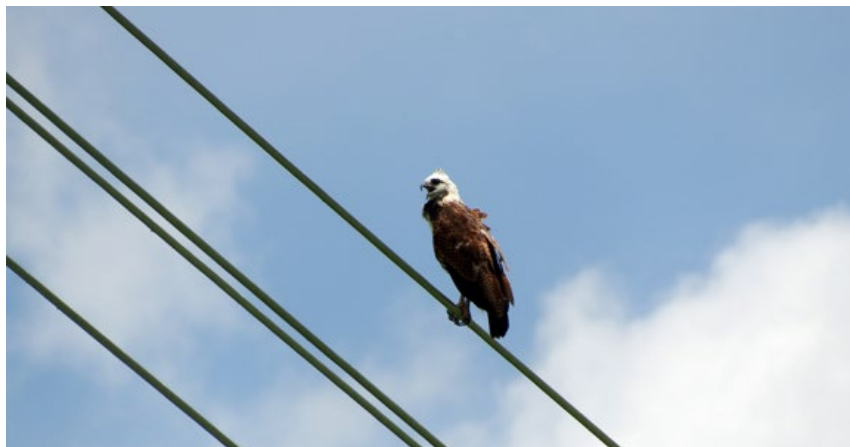


Figura 4.1. Cuando un ave se posa en un cable no hay riesgo de electrocución, ya que no existe una diferencia significativa de potencial entre los puntos de contacto, sus dos patas. Busardo colorado (*Busarellus nigricollis*) posado en cable de una línea de alta tensión, Colombia. © Darío Correa

4.1. El riesgo de electrocución

Comúnmente, **la electrocución de un animal en una línea eléctrica tiene lugar cuando su cuerpo contacta directamente a la vez con dos puntos de diferente potencial eléctrico** (con distinto voltaje), cerrando así un circuito y produciéndose una corriente eléctrica entre los dos puntos que atraviesa su cuerpo (Figura 4.1). En ocasiones, basta con la proximidad a un elemento con elevado voltaje para que el animal reciba una descarga eléctrica. El paso de la corriente origina diferentes lesiones externas e internas que suelen producir la muerte rápida del animal, siendo características las marcas de quemaduras en los puntos de entrada y salida del cuerpo. A veces la muerte no es inmediata y la causa final es el golpe tras la caída desde lo alto de la estructura; raramente el animal queda vivo al pie del poste, pero o bien no puede superar las graves heridas o es depredado por algún carnívoro oportunista (ver, por ejemplo, Haas, 1980; Olendorff et al., 1981; Ferrer et al., 1991; Ferrer y Janss, 1999; APLIC, 2006; Ferrer, 2012; Demerdzhiev, 2014; Garrido y Martín, 2015; Martín Martín et al., 2022; IFC y Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo, 2026; ver capítulo 6).

Este contacto entre dos puntos con diferente potencial eléctrico **puede suceder de distintas formas, según las características de la línea eléctrica, siendo lo más común que se produzca en las líneas de distribución**, por la menor distancia entre sus elementos, y por estas causas:

a) Contacto entre dos conductores. Debido al carácter alterno de la forma de transportar y distribuir la electricidad, en un punto determinado de la línea existe siempre una diferencia de potencial entre los conductores (ver Figura 2.6 del capítulo 2), de manera que al hacer contacto simultáneo entre dos de ellos se produce una corriente eléctrica. Esto no ocurre al tocar un solo conductor en dos puntos próximos, como cuando un ave se posa en un cable o un mono se desplaza sobre él; en ese caso, al no haber una diferencia significativa de potencial entre los puntos de contacto y al ser el cuerpo de los animales mucho peor conductor de la electricidad que el cable, la corriente sigue su camino por el conductor sin desviarse.

b) Contacto entre un conductor y un elemento metálico conectado a tierra.

Como el suelo tiene potencial cero, al tocar simultáneamente un conductor y un elemento metálico conectado a tierra, se produce una corriente eléctrica debido a la diferencia de potencial. Ese elemento metálico puede ser el cable neutro, en los casos de líneas eléctricas que además de conductores porten este cable (que siempre está conectado a tierra), o la cruceta del poste que sustenta el cableado. En el caso de postes de metal o de hormigón armado (con acero en su interior), la conexión a tierra de la cruceta se produce directamente, pero si el poste es de un material no conductor (madera, fibra de vidrio), la electrocución solo se produce si la cruceta metálica tiene toma de tierra, que suele ser visible en forma de un cable que va desde ella al suelo. Si no existe toma de tierra, aunque la cruceta sea metálica, al tocar a la vez un conductor no se cierra un circuito eléctrico y no hay paso de corriente, siendo sólo posible la electrocución mediante el contacto con los conductores. Esta circunstancia puede alterarse en períodos de lluvia; al mojarse toda la estructura, el agua, buena conductora de la electricidad, puede funcionar como una toma de tierra, existiendo entonces también riesgo de electrocución al contacto con la cruceta.

Hay que tener en cuenta que todos los elementos metálicos que están en contacto con los conductores tienen su misma tensión, caso de las grapas que los sujetan a los aisladores, sus tornillos, los puentes de unión en los postes de amarre o los cables que conectan con los diferentes dispositivos instalados en el poste (transformadores, seccionadores, disyuntores, etc.), así como los bornes de esos dispositivos donde se conectan. Además, esos dispositivos suelen ser metálicos a menudo y tienen una toma de tierra propia como elemento de protección, de forma que, si un animal se sube a él y toca el conector o simplemente el mismo tornillo del borne, se cierra el circuito y se produce electrocución.

En el caso de las aves, como las plumas son muy malas conductoras de electricidad, cuando el plumaje está seco la electrocución se produce por doble contacto entre

partes de tejido vivo desnudas, que son mejores conductoras, como las patas, la base del pico, los párpados, la cabeza en algunas especies o la piel de la parte inferior de las alas, zonas todas ellas sin plumas o con una cobertura poco densa. En las alas el punto más vulnerable se encuentra a la altura de los huesos metacarpianos (la “muñeca” del ala), el extremo donde se insertan las plumas de vuelo, que suele ser el punto más frecuente de electrocución (Figuras 4.2 y 4.3).



Figura 4.2. El área marcada en rojo muestra la extensión de la piel (tejido vivo) en la parte inferior del ala de un ave; el resto está constituido por las plumas de vuelo, que son tejido muerto, similar a las uñas o el pelo de los mamíferos. © Justo Martín

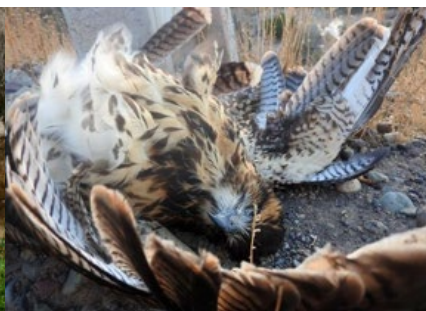
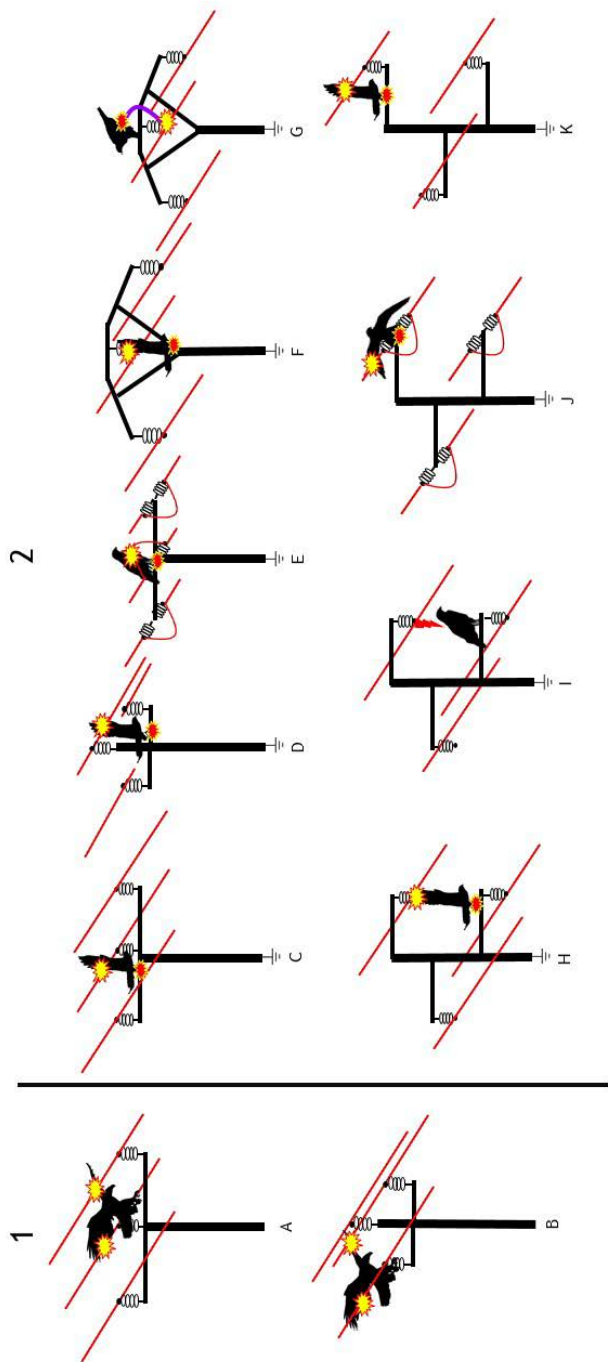


Figura 4.3. La electrocución en las aves ocurre generalmente como resultado del contacto de la corriente eléctrica con áreas de piel desnuda o plumaje escaso. Las plumas chamuscadas en la parte inferior del ala de este peuco (*Parabuteo unicinctus*) indican el punto de salida de la descarga eléctrica. Valparaíso, Chile. Por Flacavet vía iNaturalist Chile. CC BY-NC

En los países que utilizan postes conectados a tierra (metálicos, hormigón armado), la mayoría de las electrocuciones ocurren al tocar el animal una fase estando en contacto con la cruceta; como ya se ha mencionado, lo más común es que esto ocurra en las líneas de distribución. En las aves, alrededor del 75% de los casos tienen lugar cuando un animal toca una fase con un ala al posarse en la cruceta, normalmente con la extremidad opuesta, aunque el contacto puede ser también pata-cabeza, ala-cabeza, pata-pata o ala-ala. Aunque el momento más peligroso es al posarse, también puede producirse al echar a volar o mientras está posada, en algún movimiento que dé lugar a ese doble contacto (Figura 4.4.).

Si el plumaje está mojado, el riesgo aumenta ya que, en esas condiciones, debido a la buena conductividad del agua, la electrocución se puede producir prácticamente a través de cualquier parte del cuerpo. Así, en días lluviosos se produce un mayor número de electrocuciones (APLIC, 2006).



 **Contacto con conductor**

 **Contacto con punto con conexión a tierra**

 **Arco eléctrico**

 **Chorro de excremento**

Figura 4.4. La configuración de la cruce y el hecho de que tenga partes metálicas conectadas a tierra determinan en gran medida el riesgo de electrocución. Si no existe puesta a tierra (1), la electrocución solo puede producirse por el contacto simultáneo de dos conductores (A y B). Si existe puesta a tierra (2), además de ese contacto simultáneo, la electrocución puede producirse por contacto entre un conductor y la cruce (C, D, E, F, H, J y K); también de forma indirecta, por contacto a través de un chorro de excrementos (G) o formación de un arco eléctrico (I). ©Justo Martín y James Dwyer

Además del contacto directo entre dos puntos, existen **otras causas** menos frecuentes de electrocución pero que también originan un buen número de muertes:

a) Electrocutación por contacto indirecto. Esto ocurre si el animal en cuestión porta algún objeto con el que pueda hacer contacto. El caso más conocido es el de una rapaz que se posa en un poste con su presa para alimentarse. Si, colgando desde una cruceta con puesta a tierra, la presa toca un conductor, se cierra el circuito y la electricidad fluye a través de la presa y su predador. La electrocución de esta forma se ha documentado en Europa para especies como el búho real (*Bubo bubo*), el milano negro (*Milvus migrans*) y el águila culebrera (*Circaetus gallicus*). En el caso de esta última, su tipo de presa preferente, las serpientes, la hacen más sensible a esta forma de electrocución (Ferrer et al., 1991; Ferrer, 2012). Otras formas de contacto indirecto pueden darse al construir un nido sobre el poste, cuando la corriente pasa a través del material aportado (Chelghoum, 2019; Martínez-Miranzo et al., 2024; también a través de otro o un grupo de individuos posados en el poste que tocan a la vez dos puntos con diferente tensión, transmitiéndose la corriente eléctrica a través de sus cuerpos (Ferrer, 2012; Figura 4.5).



Figura 4.5. Cuando se posan varios ejemplares en un mismo soporte pueden producirse electrocuciones grupales por el contacto entre los diferentes individuos. Buitres leonados (*Gyps fulvus*) secándose el plumaje tras una lluvia en el norte de Marruecos; en este caso no hay riesgo por el diseño de la cruceta, pero si ésta tuviese un diseño no seguro para las aves, el riesgo de electrocución múltiple sería muy elevado por el estrecho contacto y el plumaje mojado. © Rachid El Khamlichi

b) Electrocción por corriente de fuga. Bajo ciertas circunstancias, un aislador puede permitir el paso de la corriente desde el conductor al poste. Esto puede ocurrir porque el envejecimiento del material reduzca las propiedades aislantes del aislador. También la contaminación superficial por suciedad, polvo, excrementos o sales en suspensión, en el caso de ambientes salinos, propicia que en condiciones de humedad ambiental (lluvia, rocío, niebla) se forme una película conductora sobre la superficie del aislador por la que puede circular una corriente eléctrica. Entonces puede producirse una descarga de corriente desde el conductor al suelo a través del aislador y el poste metálico por su puesta a tierra. Esta corriente recibe el nombre de corriente de fuga y si es suficientemente elevada, puede electrocutar un animal que se encuentre en las cercanías del aislador en cuestión.

c) Electrocción por arco eléctrico. Un arco eléctrico es una corriente eléctrica que se forma a través del aire entre dos puntos con diferente tensión (Ayrton, 2012). Si bien el aire es un mal conductor de la electricidad, de manera que puede considerarse un buen aislante, cuando la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos próximos supera un determinado valor, puede convertirse en conductor, produciéndose una descarga eléctrica entre ellos. La distancia a la que se produce el arco eléctrico depende de la diferencia de voltaje y de las condiciones atmosféricas. De hecho, en líneas de media y sobre todo alta tensión, la descarga eléctrica puede producirse sin contacto directo, sólo por aproximación; muchas



Figura 4.6. La electrocción por la formación de un arco eléctrico es poco frecuente, aunque es posible cuando la humedad relativa es alta o el ave tiene las plumas mojadas. Águila de Bonelli con el plumaje afectado por un arco eléctrico.
© Ernesto Ferreira

electrocuciones se producen de esta forma. Este fenómeno se acentúa con la humedad, que reduce la capacidad aislante del aire, de manera que, si el ambiente es húmedo, se puede formar un arco eléctrico a una mayor distancia. Así, en días de niebla o lluvia (particularmente durante lluvias ligeras), en situaciones con alta humedad relativa o cuando el ave tiene las plumas mojadas, se puede formar un arco eléctrico entre el ave y el conductor a una distancia mayor que en condiciones más secas. En ambientes de agua salada (marismas o cerca del mar), este riesgo es aún mayor, ya que la sal aumenta la conductividad del aire. Dependiendo de estos factores (grado de humedad atmosférica, si el animal está mojado o no, la cercanía al conductor, si el poste tiene o no toma de tierra, etc.), el arco eléctrico puede penetrar en el cuerpo del animal o afectarle solo superficialmente, en cuyo caso suele producir graves quemaduras (Figura 4.6).

d) Electrocución por defecación “desafortunada”. Cuando las aves de gran tamaño defecan, producen un chorro de excremento de considerable longitud, de consistencia semilíquida y rico en sales, que constituye un excelente conductor eléctrico (Figura 4.7). Si defecan sobre un poste, el chorro puede actuar como una línea que conecta al ave con un conductor (normalmente uno situado por debajo) antes de haber sido completamente expulsado de la cloaca. La electrocución de esta manera, que en principio parecería fortuita, puede ser bastante probable si el ave utiliza a menudo el poste en cuestión como posadero. Otro efecto de los excrementos sobre el poste es que su acumulación sobre los aisladores puede hacer que pierdan su capacidad aislante, existiendo el riesgo de que se produzca una corriente de fuga.

Figura 4.7. La defecación de las grandes aves rapaces en forma de un chorro largo puede provocar electrocuciones cuando el extremo del chorro entra en contacto con un conductor debajo de una cruceta de metal. © Justo Martín. Imagen generada por IA.



4.2. La electrocución en las aves

La mayoría de los estudios sobre electrocución se han centrado en las aves, el grupo zoológico más afectado tanto en número de especies como en la incidencia de la problemática. **Aunque este capítulo aborda la electrocución de forma general, dado que la mayor parte de los estudios y de las soluciones existentes se han enfocado en las aves, será este grupo el que se trate principalmente.**

El riesgo de electrocución para un ave depende de tres tipos de factores (véanse las revisiones de APLIC, 2006; Lehman et al., 2007; Prinsen et al., 2011a; Ferrer, 2012; Environmental Impact Services, 2013; Eccleston y Harness, 2018; Martín Martín et al., 2022):

- La estructura y configuración del poste
- El tipo y especie de ave
- Los factores ambientales

El diseño del poste es el factor principal, ya que la disposición de los elementos existentes determina el peligro intrínseco de que se produzca la electrocución. Determinados aspectos relacionados con la biología de las especies (tamaño, morfología y comportamiento) las predisponen a una mayor o menor sensibilidad a las electroclusiones. El riesgo real depende de ciertos factores ambientales, que modulan el determinado por los otros dos factores.

4.2.1. Diseño y configuración de la cruceta

La distancia y disposición a la que se encuentran los distintos elementos en la cruceta son el factor principal que determina el riesgo de electrocución.

Ambas dependen en primer término del voltaje de la línea, ya que, por motivos de seguridad y eficacia en el transporte de electricidad, las distancias entre elementos con diferente tensión deben ampliarse a medida que aumenta el voltaje.

La peligrosidad se concentra en las líneas de distribución, en las que esas distancias de seguridad son menores. Dentro de ellas, aquellos postes con diseños y elementos que faciliten el doble contacto (aisladores rígidos, puentes de amarre por encima, seccionadores en cabecera, existencia de transformadores, etc.), tendrán un riesgo

elevado, mayor si el poste es metálico o la cruceta está conectada a tierra. También influyen las posibilidades que el diseño de la cruceta ofrezca para que el ave se pose. Para más detalles sobre la peligrosidad y las características que hacen una tipología de poste más peligrosa, ver el apéndice A.

Aparte del riesgo intrínseco de un diseño determinado, **hay que tener en cuenta la intensidad de uso**. Una configuración no demasiado peligrosa pero utilizada de manera intensiva, puede causar una mayor mortalidad que una configuración muy peligrosa que se usa solo ocasionalmente (Ferrer, 2012, Godino et al., 2016; Garrido et al., 2018a).

4.2.2. Grupos de aves sensibles a la electrocución

Algunas especies o grupos de especies son más propensas que otras a sufrir electrocuciones en líneas eléctricas (ver revisiones en APLIC, 2006; Lehman et al., 2007; Prinsen et al., 2011a; APLIC, 2012; Ferrer, 2012; Bernardino et al., 2018; Eccleston y Harness, 2018).

Dos tipos de **factores principales** determinan la sensibilidad de un ave a sufrir electrocución (Bevanger, 1994):

- Las características morfológicas, de las que depende la posibilidad de contactos peligrosos.
- El comportamiento, ya que su disposición a utilizar líneas eléctricas determinará el grado de sensibilidad a este problema.

Otros factores, como el sexo y la edad, también pueden influir.

Características morfológicas

Es obvio que las **aves más grandes** tienen un mayor riesgo de electrocución, porque pueden hacer un contacto peligroso más fácilmente (APLIC, 2006; Lehman et al., 2007). Las aves que superan el metro de envergadura (rapaces de tamaño mediano o grande, cigüeñas, etc.) se consideran las más vulnerables (Figura 4.8).

Las aves pequeñas también pueden sufrir electrocuci3nes. Los postes especiales que portan diferentes elementos (derivaciones, seccionadores, transformadores, etc.) con conexiones entre sí son peligrosos incluso para pequeñas paseriformes, especialmente si tienen comportamientos gregarios.



Figura 4.8. La electrocuci3n es uno de los principales problemas de conservaci3n de las guilas de gran tamaño. En la imagen, guila coronada, especie de distribuci3n sudamericana catalogada En Peligro (según la Lista Roja de Especies Amenazadas™ de la UICN; BirdLife International, 2024) con numerosos reportes de muertes por electrocuci3n en diferentes países. Por Tresg vía Argentinat. CC BY-NC

Comportamiento

Entre las especies de tamaño mediano o grande, aquellas que tienden a utilizar postes y torres de alta tensi3n como **oteaderos de caza, descanso o dormitorio** son las más sensibles. De estas especies, las rapaces son probablemente el grupo más afectado (Ferrer et al., 1991; Ferrer y Hiraldo, 1991, 1992; Ferrer y Negro, 1992; Janss y Ferrer, 1998, 1999, 2001; Sergio et al., 2004; Ferrer, 2012; Botha et al., 2017); en particular, las grandes y medianas rapaces que buscan alimento en zonas relativamente despejadas. Las especies puramente arborícolas suelen ser menos sensibles a esta problemática, ya que los posaderos naturales abundan en sus entornos.

En el caso del guila de Bonelli en España, se ha observado que algunas electrocuci3nes se producen en ciertos tipos de apoyos, como en b3vedas con aisladores suspendidos o en apoyos especiales, como derivaciones o apoyos con transformadores. En esta especie es habitual que, cuando los individuos se estn alimentando, eviten posarse en lugares expuestos para protegerse de otras grandes rapaces, que pueden robarles la comida o incluso depredar sobre ellas. Así, al posarse en un poste eléctrico, evitarían la parte superior del mismo, buscando diseños que les ofrezcan niveles inferiores de posada, normalmente en situaciones de mucho mayor riesgo (obs. pers.).

Las rapaces nocturnas, aunque suelen cazar desde posaderos, en general están menos afectadas por este problema (Figura 4.9). Dado que utilizan el oído para encontrar y localizar a sus presas, suelen seleccionar posiciones más bajas que las que les brindan los postes de las líneas eléctricas de media y alta tensión. Las especies de mayor tamaño tienen una audición más sensible que les permite utilizar soportes más altos; éstas sí aprovechan con frecuencia los postes, sufriendo altas tasas de electrocución (Taylor, 1994; Fajardo, 1998).



Figura 4.9. Las aves rapaces nocturnas también se ven afectadas por las electrocuciones, especialmente las de mayor tamaño. Tucúquere o búho magallánico (*Bubo magellanicus*) encontrado electrocutado al pie de un poste eléctrico de una planta potabilizadora de agua, Córdoba, Argentina. Por Melisa Perdomo vía ArgentiNat. CC BY-NC-SA

En el caso de **especies gregarias** que utilizan postes como dormideros o lugares de descanso pueden producirse electrocuciones simultáneas de varios ejemplares si están en contacto o muy próximos entre sí y las aves de los extremos tocan dos puntos con diferente potencial eléctrico (Figura 4.10). En ese caso la corriente eléctrica recorre todo el grupo de aves, electrocutándose de manera simultánea (Ferrer, 2012). Este tipo de accidentes se pueden dar incluso en las torres de alta tensión, que generalmente son más seguras debido a la mayor separación entre los conductores.

Este riesgo de electrocución grupal es mayor en días de lluvia o niebla, tanto por el plumaje mojado como por las posibilidades de formación de arcos eléctricos. El comportamiento de algunas especies extendiendo sus alas para solearse o secarse después de una lluvia aumenta la posibilidad de estas electrocuciones.

Las especies que utilizan los **postes como plataformas de nidificaci3n** sufren especialmente esta problemática. El uso continuado a lo largo de toda la reproducci3n les supone a los adultos un elevado riesgo de sufrir accidentes. Los pollos que nacen en estos nidos tambi3n son muy sensibles, sobre todo cuando al final de su crecimiento salen del nido, ejercitan sus alas y realizan sus primeros y poco diestros vuelos.

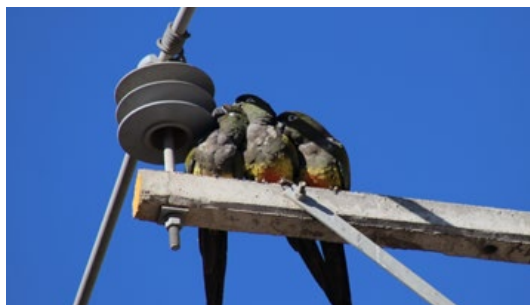


Figura 4.10. Las especies gregarias que utilizan líneas eléctricas como lugares de descanso corren el riesgo de sufrir electrocuci3nes múltiples. Grupo de loros barranqueros o trichahues (*Cyanoliseus patagonus*) descansando sobre un soporte de línea eléctrica, con situaci3n de riesgo de electrocuci3n para todo el grupo, Chile. Por Andreabot vía iNaturalist Chile. CC BY-NC

Otros factores

El **sexo** puede ser un factor de riesgo, tanto por la diferencia de tamaño (en las rapaces, la hembra tiende a ser más grande; Ferrer y Hiraldo, 1992) como por las diferencias de comportamiento entre machos y hembras (Dwyer, 2009). La **edad** del ave tambi3n influye; en algunas especies se ha comprobado que los individuos jóvenes son más susceptibles a la electrocuci3n porque exploran más y usan más los tendidos como posaderos en las zonas de dispersi3n (Ferrer y Hiraldo, 1991).

En relaci3n con estos factores descritos anteriormente, los **grupos de aves más afectados** por la electrocuci3n son las cigüeñas y parientes, las rapaces medianas y grandes (diurnas y nocturnas) y los córvidos (Lehman et al., 2007; ver capítulo 3). En las zonas costeras, las gaviotas pueden representar una gran proporci3n de las víctimas (de Pablo, 2017). El grupo de los psitaciformes (loros, guacamayos, etc.), con muchas especies coloniales, gregarias y de tamaño mediano a grande, es otro grupo sensible (Galmes et al., 2018; Biasotto et al., 2022; Tinoco et al., 2022).

Las muertes provocadas por líneas eléctricas tienen **diferentes consecuencias según las características demográficas y biológicas** de las especies afectadas.

Si la especie es abundante y el efecto es local, su impacto sobre la población puede ser poco significativo. Sin embargo, si la especie es escasa y el efecto sobre ella es generalizado, puede llegar a representar su principal factor de mortalidad, poniendo en peligro la supervivencia o recuperación futura de sus poblaciones (ver capítulo 3). Por otro lado, en aves rapaces longevas una elevada mortalidad de individuos adultos puede provocar una alta tasa de renovación de los miembros que forman las parejas. El aumento de la proporción de parejas con individuos inexpertos repercute en el éxito reproductor de las mismas e incluso en el de toda la población.

En general, las especies más afectadas son aquellas que presentan una o más de las siguientes características:

- Especies presentes en densidades de población bajas y, por tanto, con una capacidad limitada para reemplazar individuos.
- Especies con bajo potencial reproductivo, en las que un aumento de la mortalidad de adultos dificulta la recuperación de las pérdidas de población.
- Especies con bajas tasas de fecundidad, bajas tasas de mortalidad natural y larga esperanza de vida, en las que la estabilidad de la población depende de una alta tasa de supervivencia de los adultos (cuando esta fracción de la población se ve particularmente afectada).
- Especies raras y amenazadas, en particular si también presentan otras características desfavorables (baja densidad, bajas tasas de fertilidad, etc.).



Figura 4.11. El águila harpía reúne varias características que la hacen sensible a la mortalidad por electrocución: densidad poblacional baja, pequeña tasa de reproducción y estado de conservación desfavorable. Pará, Brasil. Por Christoph Moning vía iNaturalist. CC BY-NC

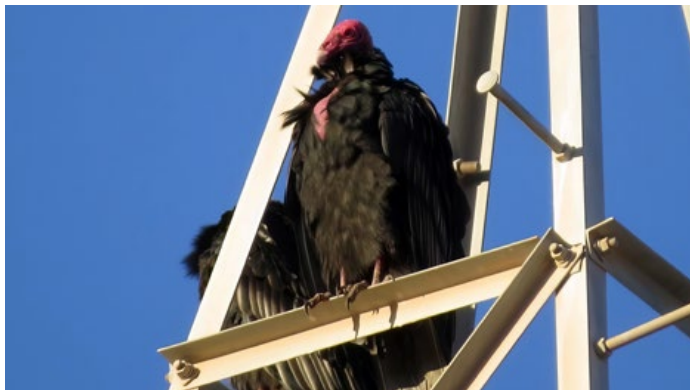


Figura 4.12. Las aves carroñeras mueren con frecuencia en los tendidos eléctricos situados cerca de depósitos de basura. Jote o gallinazo de cabeza roja austral (*Cathartes aura*), Tarapacá, Chile. Por Francico González vía iNaturalist Chile. CC BY-NC

4.2.3. Factores ambientales

Los factores ambientales inciden en el grado de uso por parte de las especies sensibles y la peligrosidad determinada por la estructura de los postes.

Relieve

La morfología del terreno y el trazado de la línea eléctrica sobre él condicionan el posible uso de los postes por parte de las aves y, por tanto, su peligrosidad potencial. En general es mayor si sigue una **divisoria de cumbres o una línea de máxima pendiente**, que si el tendido va a media ladera o por el fondo de un valle. Respecto a los postes individuales, aquellos que gozan de un mayor campo de visión por tener una posición preeminente en el terreno son más susceptibles de ser utilizados.

Disponibilidad de alimento

La presencia de alimento abundante y accesible en las cercanías de la línea eléctrica potencia su uso por parte de las aves. Es el caso de zonas con **elevadas densidades de presas** potenciales para las rapaces. Por su parte, los **depósitos de basuras** urbanas a cielo abierto representan una fuente casi inagotable de alimentos para especies carroñeras y oportunistas (como zopilotes, jotes, caracaras, etc.) y además suelen tener tendidos eléctricos para suministrar energía a sus instalaciones; son puntos especialmente problemáticos (Figura 4.12).

Características del hábitat circundante

El riesgo es mayor en líneas que transcurren por **zonas de ecotono** entre diferentes hábitats, que tienden a ser más ricas en alimentos, o lo hacen por **áreas desarboladas** o con árboles muy dispersos, mientras que el riesgo es menor para las líneas eléctricas que atraviesan áreas boscosas con árboles más altos que las torres (Godino et al., 2016; Garrido et al., 2018a; Angelov et al., 2013; Dixon et al., 2017). Un caso particular es el de las líneas eléctricas ubicadas cerca de **humedales**, donde pueden darse grandes concentraciones de aves; además algunas especies de estos ambientes que utilizan los postes como posaderos lo hacen con el plumaje húmedo e incluso extienden las alas para ayudar a secarlo, incrementando el riesgo. En climas o estaciones secas, las líneas ubicadas cerca de **fuentes de agua** son particularmente peligrosas y causan muchas electrocuciones (Izquierdo Rosique et al., 1997). La proximidad de áreas urbanas, viviendas o infraestructuras lineales como carreteras o caminos frecuentados reduce el uso potencial de las líneas eléctricas, al menos por parte de las especies más sensibles a la presencia y actividad humana (Ferrer et al., 1991; Janss y Ferrer, 2001; Guil et al., 2011; Ferrer, 2012; Figura 4.13).



Figura 4.13. Las líneas eléctricas situadas cerca de poblaciones, carreteras o vías de transporte suelen ser menos frecuentadas por las aves, en particular por las especies más sensibles a la presencia humana. Líneas eléctricas que transcurren cerca de una vía de comunicación y entre viviendas, Colombia. © Isabel Jado

Condiciones meteorológicas

Las electrocuciones son más frecuentes en los días de **lluvia o niebla** persistente, pues el plumaje empapado incrementa el riesgo; la humedad ambiental también favorece la formación de arcos eléctricos. Así, en los meses húmedos el número de electrocuciones suele ser mayor. También el **viento fuerte** puede aumentar el riesgo, ya que dificulta el control del vuelo y obliga a equilibrios y maniobras alares a las aves al posarse y mientras están posadas que pueden acabar en un contacto fatal.

Otros factores

La **estación del año** influye en la frecuencia de electrocuciiones, aumentando el riesgo a finales de primavera y en otoño debido a la reproducción y dispersión de especies sensibles (Lehman et al., 2007). La disponibilidad de presas también puede variar de forma estacional o aparecer súbitamente debido a explosiones demográficas de especies-presa, determinadas por diferentes factores climáticos y/o demográficos. Una ubicación geográfica determinada, como por ejemplo una **zona de concentración del paso de especies migratorias** (Godino et al., 2016; Dixon et al., 2017), puede ser un factor añadido de riesgo.

4.3. La electrocución en otros grupos zoológicos

Algunos **reptiles trepadores**, como las iguanas negras y comunes (*Ctenosaura similis* e *Iguana iguana*), serpientes arbóreas (*Boa constrictor*) e incluso algunos anfibios, son susceptibles a la electrocución en líneas de distribución eléctrica. Las serpientes arborícolas se electrocutan al desplazarse sobre los cables, mientras que animales de pequeño tamaño mueren al acercarse atraídos por el calor generado por algunos componentes de la infraestructura, como los transformadores (Rodríguez et al., 2023; Kolnegari et al., 2021).

Después de las aves, el grupo de mamíferos es el que más sufre esta problemática. En los bosques viven muchas especies que habitan y se mueven por troncos y ramas que utilizan los postes y cables de las líneas eléctricas y los recintos de las subestaciones que recorren estos ecosistemas para buscar alimento o como refugio para escapar de los depredadores u otras amenazas (Figura 4.14). Estos comportamientos pueden dar lugar a que entren en contacto con elementos en tensión y sufrir electrocuciiones (Boinski et al., 1998; Lokschin et al., 2007; Ferrer, 2012; Saavedra Rodríguez et al., 2013; Kumar y Kumar, 2015; Cunneyworth y Slade, 2021; Rodríguez et al., 2023; Yi et al., 2022; Meylisa, 2024). También existen datos sobre electrocución de murciélagos de gran tamaño (género *Pteropus*) que en ocasiones utilizan cables eléctricos para descansar y cuya gran envergadura posibilita el contacto entre dos conductores (Martin, 2011b; Chouhan y Shrivastava, 2019; Tella et al., 2020).

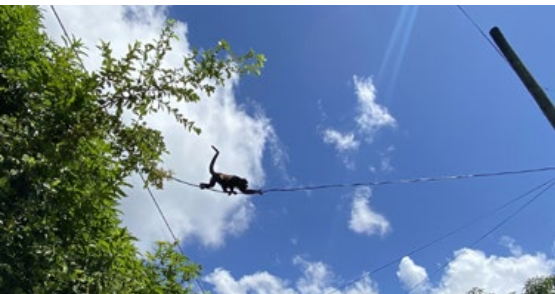


Figura 4.14. La electrocución representa una amenaza para los mamíferos arbóreos como los primates, que utilizan los cables en sus desplazamientos sobre todo si son la única opción para desplazarse entre diferentes árboles o parches arbolados. Mono congo o aullador de manto (*Alouatta palliata*) utilizando un cable para desplazarse, Guanacaste, Costa Rica. Por Viviaraya vía iNaturalist Costa Rica. CC BY-NC

Entre los carnívoros hay muchas especies con grandes dotes trepadoras que utilizan con frecuencia los árboles o que, al menos ocasionalmente, pueden subirse a ellos, lo que las hace potencialmente sensibles a sufrir electrocuciones. Existen registros de muerte por esta causa para especies como el puma (*Puma concolor*) en EE. UU., el león (*Panthera leo*) en Sudáfrica, el leopardo (*Panthera pardus*) en India y Sudáfrica y la hiena rayada (*Hyaena hyaena*) y el lince euroasiático (*Lynx lynx*) en Irán; y algunos casos de carnívoros de tamaño mediano como la gineta común (*Genetta genetta*), la garduña (*Martes foina*) y el meloncillo (*Herpestes ichneumon*) en España (Thompson y Jenks, 2007; Ferrer, 2012; Vedamanickam et al., 2015; Menon et al., 2017; Kolnegari et al., 2018; Talukdar et al., 2018; Eskom-EWT Strategic Partnership, s.f.; datos de los autores). Al menos en algunos casos, la muerte parece deberse a que el carnívoro trepa al poste al ver otro animal electrocutado que intenta alcanzar; también son atraídos por la presencia de nidos de aves que consideran presas potenciales.

También están expuestas a este riesgo las especies terrestres de gran tamaño y altura, como la jirafa (*Giraffa* spp., hasta 5,8 metros) y el elefante africano (*Loxodonta africana*, hasta 4 metros) en África, y el elefante asiático (*Elephas maximus*, hasta 3,2 metros) en Asia, que pueden hacer contacto con los cables en el caso de las líneas aéreas de menor tensión, que discurren a menor altura sobre el suelo.

Cuando por diversos motivos los postes caen al suelo (eventos meteorológicos extremos, deterioro, derribos por animales grandes), los conductores desnudos expuestos extienden el riesgo a especies de menor tamaño (Page-Nicholson et al., 2018; Al-Razi et al., 2019).

Existen referencias de 71 especies de mamíferos con casos confirmados de electrocución a nivel mundial, evaluándose en 360 de 50 géneros diferentes las especies de este grupo zoológico potencialmente vulnerables a este problema, siendo las zonas tropicales de Sudamérica y del sureste asiático las áreas con mayor número de ellas (Puebla, 2023; Figura 4.15).

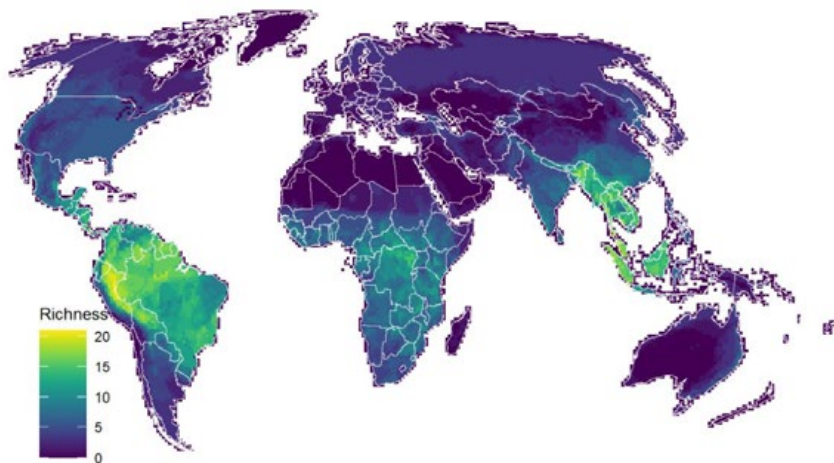


Figura 4.15. Distribuci3n de las especies de mamíferos potencialmente vulnerables a la electrocuci3n. El gradiente indica el número de especies. Color amarillo: más riqueza de especies. Fuente: Puebla, 2023

En Latinoamérica, la fauna de mamíferos comprende un gran número de grupos y especies con hábitos total o parcialmente arborícolas que son susceptibles de sufrir electrocuci3nes: felinos, mustélidos, proci3nidos (martillas, olingos y mapaches), zorros o zarigüeyas, perezosos, osos hormigueros, ardillas y la mayoría de los primates. En el caso de Costa Rica, por ejemplo, esa lista incluye 37 especies pertenecientes a 11 familias diferentes (Rodríguez et al., 2023), algunas catalogadas como amenazadas. Para muchas de ellas ya hay casos confirmados de electrocuci3n; también para algunas especies de reptiles. En la Tabla 4-1 se presenta una compilaci3n de especies de mamíferos y reptiles con casos confirmados de electrocuci3n para la regi3n latinoamericana.



Figura 4.16. Zorro de balsa (*Caluromys derbianus*) electrocutado en una línea eléctrica en Puntarenas, Costa Rica. Por Carlos Venegas-Elizondo vía iNaturalist Costa Rica. CC BY-NC

Tabla 4-1. Especies de mamíferos y reptiles para los que se han reportado electrocuciones en varios países de Latinoamérica.

Especie	País	Fuente
Iguana de cola espinosa (<i>Ctenosaura similis</i>)	Costa Rica	Rodríguez et al., 2023
Iguana verde (<i>Iguana iguana</i>)	Costa Rica	Rodríguez et al., 2023
Boa constrictor (<i>Boa constrictor</i>)	Costa Rica	Rodríguez et al., 2023
Zarigüeya de orejas negras (<i>Didelphis marsupialis</i>)	Costa Rica	Rodríguez et al., 2020
Zorro de balsa (<i>Caluromys derbianus</i>)	Costa Rica Colombia	Rodríguez et al., 2023 Saavedra-Rodríguez et al., 2013
Zarigüeya gris de cuatro ojos (<i>Zarigüeya Philander</i>)	Costa Rica	Rodríguez et al., 2023
Tití de pincel negro (<i>Callithrix penicillata</i>)	Brasil	Goulart et al., 2010 Pereira et al., 2020
Barzo dorsirrojo (<i>Saimiri oerstedii</i>)	Costa Rica	Boinski et al., 1998 Naturalista Costa Rica, s.f.
Mono carablanca (<i>Cebus imitator</i>)	Costa Rica	Naturalista Costa Rica, s.f.
Carayá marrón o mono aullador rojo (<i>Alouatta guariba</i>)	Brasil	Printes, 1999 Lokschin et al., 2007 Corrêa et al., 2018
Marikiná (<i>Aotus lemurinus</i>)	Colombia	Saavedra-Rodríguez et al., 2013
Mono congo, saraguato o mono aullador de manto (<i>Alouatta palliata</i>)	Costa Rica	Naturalista Costa Rica, s.f.
Gato montés (<i>Leopardus geoffroyi</i>)	Argentina	Sarasola et al., 2022
Mapache del norte (<i>Procyon lotor</i>)	Costa Rica	Rodríguez et al., 2023
Martilla / kinkajú (<i>Potos flavus</i>)	Costa Rica	Rodríguez et al., 2023 Naturalista Costa Rica, s.f.
Tamandua occidental (<i>Tamandua mexicana</i>)	Costa Rica	Rodríguez et al., 2023
Hormiguero dorado (<i>Ciclopes</i> sp.)	Costa Rica	Naturalista Costa Rica, s.f.
Perezoso de dos dedos o perezoso didáctilo de Hoffman (<i>Choloepus hoffmanni</i>)	Costa Rica	Naturalista Costa Rica, s.f.
Perezoso de tres dedos de garganta marrón (<i>Bradypus variegatus</i>)	Costa Rica	Rodríguez et al., 2023
Ardilla abigarrada (<i>Sciurus variegatoides</i>)	Costa Rica	Rodríguez et al., 2023
Ardilla (<i>Sciurus</i> sp.)	Costa Rica	Naturalista Costa Rica, s.f.
Puercoespin enano peludo mexicano (<i>Sphiggurus mexicanus</i>)	Costa Rica	Rodríguez et al., 2023

Fuente: indicada para cada caso en la tabla

4.4. Puntos de alta mortalidad por electrocución

Visto todo lo anterior, es obvio que las electroclusiones no se producen de forma aleatoria a lo largo de una línea eléctrica, sino que tienden a concentrarse en unos determinados tramos o postes que constituyen los denominados **puntos de alta mortalidad o puntos “negros” de electrocución, que reúnen una o varias de las siguientes características** (Ferrer et al., 1991; Janss y Ferrer, 2001; Mañosa, 2001; Ferrer, 2012; Fidlóczy et al., 2014; Gális et al., 2019; Škorpíková et al., 2019; Qaneer y Demerdzhiev, 2022; Mayrose et al., 2024):

- Postes con diseños muy peligrosos (postes de sujeción con aisladores rígidos, postes de amarre con puentes por encima y postes especiales, como postes de derivaciones, con seccionadores, fin de línea con transformadores, etc.)
- Postes ubicados en áreas de transición entre ecosistemas (ecotonos)
- Postes ubicados en puntos elevados del terreno
- Postes en zonas con alta densidad de presas y escasos o ausentes posaderos naturales (Figura 4.17)
- Postes en zonas con altas concentraciones de aves: vertederos, humedales, campos recién cosechados, etc.
- Postes cercanos a fuentes de agua durante la época seca o en zonas semiáridas o áridas

Los puntos negros no siempre se corresponden con áreas naturales. Algunas especies capaces de habitar medios urbanos pueden sufrir en ellos tasas de mortalidad tan elevadas que afecten a sus poblaciones, como se ha observado con algunas especies de guacamayos en Brasil (Tinoco et al., 2022).

La mortalidad se concentra así en un número muy reducido de soportes; poco más del 10 % de los postes de una línea puede ser responsable de más del 90% de las electroclusiones (Ferrer et al., 1991; Janss y Ferrer, 2001; Mañosa, 2001; López-López



Figura 4.17. Las electrocuciones se concentran en postes con una configuración peligrosa y/o donde la topografía y hábitat favorecen su uso por aves u otros animales, especialmente si el alimento es abundante. En la fotografía, línea eléctrica de distribución donde los postes, por su configuración, favorecen los incidentes con la fauna, que además se sitúa en zona desértica, sin otros posaderos disponibles. © Rick Harness

et al., 2011; Ferrer, 2012; García-Alfonso et al., 2021). Esta concentración tiene dos implicaciones importantes:

- **Instalar medidas de adecuación (correctoras) en todos los postes de una línea eléctrica no produce una reducción proporcional de la mortalidad.** Un estudio realizado en España (Tintó et al., 2010) mostró que las medidas de adecuación aplicadas en el 64% de los postes de una línea no redujeron significativamente la muerte de aves por electrocución, ya que los postes corregidos presentaban de por sí un bajo riesgo de electrocución.
- **Se pueden lograr reducciones muy elevadas de mortalidad modificando un número relativamente pequeño de soportes peligrosos cuidadosamente seleccionados.** Varios estudios han demostrado que actuando sobre poco más de una décima parte de los postes se puede reducir la mortalidad más de un 80% (López-López et al., 2011; Ferrer, 2012; Mayrose et al., 2024), y que prácticamente se puede eliminar asegurando sólo una cuarta parte (Mañosa, 2001).

Por tanto, la detección de esos puntos negros en la red eléctrica es fundamental, a ellos hay que dirigir los esfuerzos de búsqueda y concentrar los recursos económicos disponibles.

4.5. Medidas antielectrocuci3n

Las medidas antielectrocuci3n pueden adoptarse de **manera preventiva**, en la fase de proyecto y dise1o de una l3nea nueva en todo su trazado o en el tramo que va a transcurrir por una zona sensible, o a posteriori, una vez instalada la l3nea, en cuyo caso hablamos de **medidas de adecuaci3n (correctoras) o medidas mitigadoras**.

Algunas medidas tienen una efectividad total y permanente, eliminando el problema de forma definitiva una vez instaladas, mientras que otras suponen una soluci3n parcial y/o temporal.

Se distinguen dos tipos de medidas correctoras seg1n el tipo de actuaci3n que impliquen en el poste:

- **Medidas estructurales:** se modifica o sustituye alg1n elemento del poste para que sea muy dif3cil o imposible que se produzca una electrocuci3n. Pueden ser desde cambios en la configuraci3n de la cruceta, la disposici3n y el tipo de aisladores, hasta la sustituci3n completa de la cruceta, el poste o la l3nea. El objetivo es tener dise1os con espacios seguros entre los conductores y las partes conectadas a tierra en los puntos potenciales de posada y uso por parte de la fauna.
- **Medidas no estructurales:** sin realizar cambios en los elementos del poste, se colocan materiales aislantes para proteger los puntos potencialmente peligrosos y/o dispositivos para impedir el acceso a esos puntos, de manera que los animales s3lo usen zonas seguras del poste.

A continuaci3n, se describen y comentan las medidas m1s utilizadas (APLIC, 2006; Prinsen et al., 2011b; Ferrer, 2012; Comisi3n Europea, 2018; MITECO, 2018; Sielicki et al., 2020; Guil et al., 2021; RPS, 2021; CMS ETF y BirdLife International, s.f.; Martin et al., 2022):

Planificaci3n de la ruta. La mejor medida preventiva es no instalar l3neas el3ctricas en zonas consideradas de alto riesgo para la fauna sensible (Figura 4.18; ver cap3tulo 8). Esto es posible con una buena planificaci3n a la hora de dise1ar los trazados de las futuras l3neas el3ctricas, realizando estudios de impacto ambiental, evaluando las diferentes alternativas y seleccionando los trazados m1s viables t3cnica y econ3micamente que adem1s sean m1s respetuosos con el medio ambiente. Esta opci3n preventiva no siempre es posible o completamente eficaz (debido a la falta de

Figura 4.18. Una buena planificación de los trazados, basados en adecuados estudios de impacto ambiental previos, es fundamental para evitar la instalación de líneas eléctricas en zonas especialmente sensibles. Líneas eléctricas de media tensión en la costa de Venezuela. Por Rjcastillo vía Wikimedia Commons. CC BY-SA 3.0



trazados alternativos que no afecten a las especies, por ejemplo, en el caso de aves de amplia distribución), de manera que habría que adoptar otras soluciones preventivas, correctoras o mitigadoras.

Enterramiento de líneas eléctricas. Es la única forma totalmente eficaz y definitiva de evitar electrocuciones. Puede adoptarse como medida preventiva o como medida de adecuación definitiva en lugares particularmente problemáticos donde otras medidas hayan resultado ineficaces y esté en juego la supervivencia de especies amenazadas. Una vez aplicada, los resultados son rápidos; en Suecia, una reducción significativa en la longitud de las líneas eléctricas del país (por enterramiento de muchas de ellas) ha traído consigo una disminución de la mortalidad registrada por colisión y electrocución (Fransson et al., 2019).

El mayor inconveniente para el enterramiento de una línea eléctrica es su costo, entre 4 y 10 veces superior al de las líneas aéreas, dependiendo del terreno. Si la línea no es una instalación nueva, sino que además implica el desmantelamiento de una existente, el presupuesto necesario será aún mayor; también los costos de mantenimiento son más altos. Aparte del costo, la naturaleza del terreno puede hacer difícil o prácticamente imposible desde el punto de vista técnico el enterramiento, especialmente en el caso de las líneas de muy alta tensión.

También hay que considerar el impacto ambiental que supone el enterramiento sobre el suelo, la vegetación, etc., al menos durante la construcción. En el marco de una evaluación ambiental global, si la línea subterránea produce un impacto ambiental mayor que una línea eléctrica aérea, no se puede recomendar.



Figura 4.19. La utilización de conductores cubiertos o aislados puede eliminar el problema de la electrocución de forma permanente, aunque puede no ser así para algunas especies de loros y cacatúas. Guacamayo de Lear (*Anodorhynchus leari*) sobre una línea de baja tensión con cables trenzados. © Mariana Díniz

Uso de conductores cubiertos o aislados. La instalación de conductores cubiertos o aislados elimina directamente el riesgo de electrocución. Se trata de una medida permanente, pero también muy costosa, sobre todo si es para sustituir el cableado de una línea ya existente, que puede implicar además sustituir los postes, ya que éstos tienen que soportar un mayor peso de los cables. En varias especies de loros y cacatúas se han observado comportamientos de picoteo de la funda de cables en exteriores, dañando las cubiertas (Tracey y Saunders, 2003), de forma que para este grupo de aves esta solución podría no ser del todo segura ni permanente (Figura 4.19).

Configuraciones de cruceta seguras. En general, las configuraciones más seguras son las que evitan elementos en tensión por encima de la cruceta principal (Figura 4.20). En los postes de sujeción, no utilizar aisladores rígidos, en los de amarre, no tener puentes por encima de la cruceta, o en los especiales, no instalar dispositivos (autoválvulas, seccionadores) en la cruceta principal, sino en una posición inferior, en una cruceta secundaria.

Figura 4.20. El uso de diseños seguros para las aves es la mejor medida para minimizar el riesgo de electrocución. Cruceta con aisladores suspendidos, con distancias seguras entre los conductores y las zonas de posada. Línea de distribución en Brasil. © Álvaro Camiña

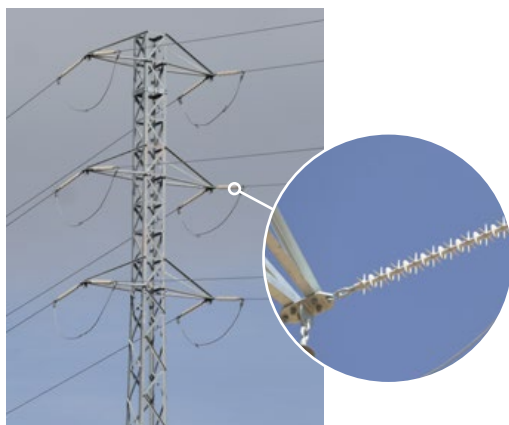


Figura 4.21. Existen aisladores poliméricos que pueden proporcionar una mayor distancia de seguridad horizontal desde el área de posada que los tradicionales de vidrio o cerámica. Además, pueden equiparse con diseños o elementos que dificulten el uso por parte de las aves. En la imagen, poste con este tipo de aisladores y detalle (España). © Justo Martín

Separación entre elementos en tensión. Además de una configuración segura, para reducir o eliminar el riesgo tiene que haber una distancia mínima desde los puntos de posada a los puntos en tensión más cercanos, la denominada distancia de seguridad (ver apéndice A). Para aumentar la distancia a los conductores se utilizan aisladores con longitudes suficientes. En el caso de los aisladores de vidrio o porcelana, esto se puede conseguir añadiendo más aisladores a la cadena, si bien esto puede suponer un incremento importante en el peso que soporta el poste. Otra opción es colocar una alargadera entre la cruceta y la cadena de aisladores, que incluso puede incorporar un diseño que dificulte la posada. La alargadera debe tener

características aislantes ya que, si es metálica, el riesgo sigue existiendo si el ave la utiliza como zona de posada (lo que no es infrecuente). La opción más sencilla es utilizar aisladores poliméricos, que pueden incluso dotarse de diseños o elementos para evitar o al menos dificultar que las aves que se posen en ellos. En el mercado existen ya aisladores de este tipo que superan el metro de longitud (Figura 4.21).

Instalación de elementos aislantes. Consiste en instalar elementos aislantes en aquellos puntos o zonas donde pueda producirse un contacto peligroso. Conductores, puentes de amarre, puentes de unión y puntos en tensión de dispositivos (autoválvulas, fusibles, seccionadores) se recubren con materiales aislantes de manera que se garantizan unas distancias de seguridad. Para ello se emplean preformados con diseños específicos para cada tipo de elemento, fabricados con plásticos especiales, PVC o silicona (Figuras 4.22 y 4.23). El uso de cintas aislantes para este revestimiento es muy desaconsejable, ya que su durabilidad es baja, debiendo limitarse su uso a aquellos puntos que puedan dejar al descubierto los preformados. En el caso de puentes y conectores, existen cubiertas preformadas para los cables desnudos, si bien es más eficaz y duradero utilizar cables aislados de fábrica. Es esencial que estos elementos aislantes estén bien instalados y mantenidos (Figura 4.24).



Figura 4.22. Los revestimientos formados por piezas preformadas son el tipo de aislamiento más utilizado. La silicona es uno de los materiales utilizados para fabricar estas piezas, ya que aporta gran resistencia y durabilidad. © Imad Kanouni

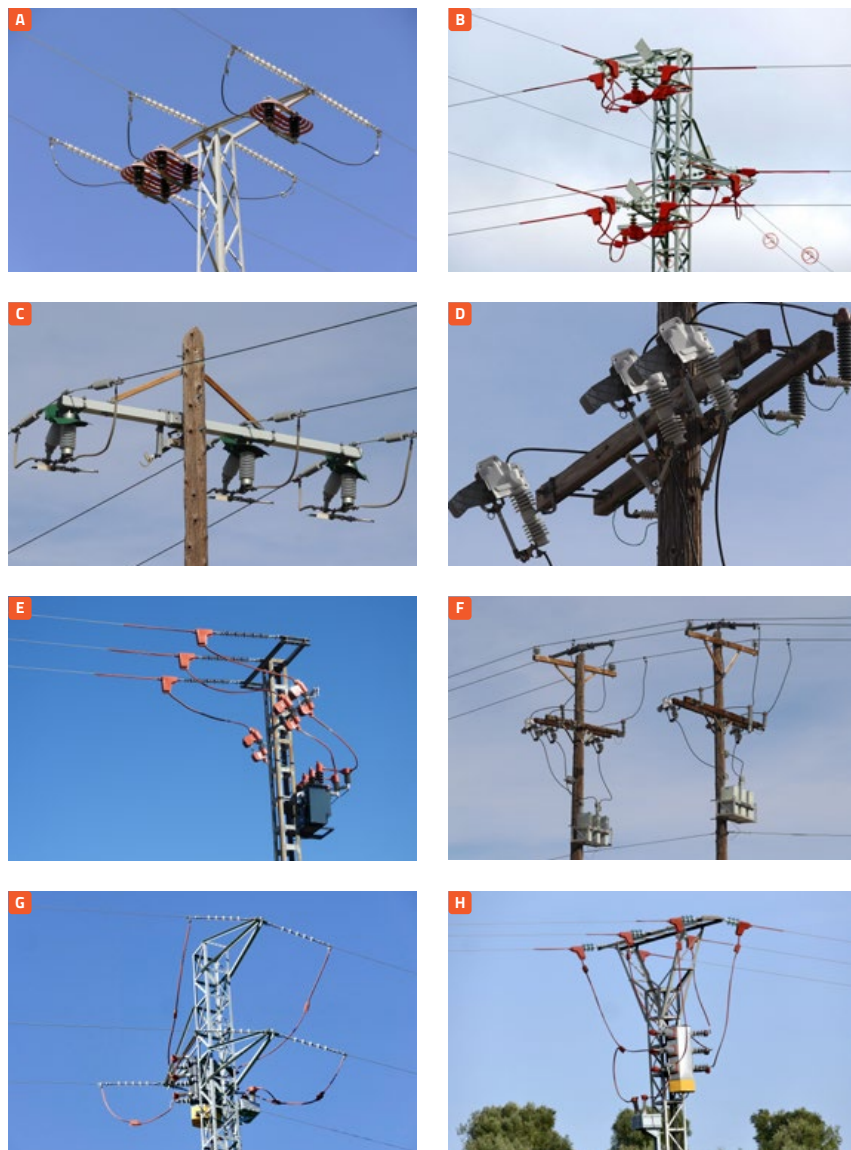


Figura 4.23. En los soportes especiales, como los postes con seccionadores (A, B, C y D), transformadores (E y F), o sistemas de control y protección (G y H), las medidas estructurales no son suficientes para garantizar la seguridad debido a los diferentes elementos y las conexiones entre ellos. En ellos, es imprescindible el uso de elementos aislantes (piezas prefabricadas, cables cubiertos, etc.) para evitar electrocuciones, sobre todo teniendo en cuenta que este tipo de postes suelen ser responsables de una gran parte de la mortalidad y de los incidentes en el suministro eléctrico causados por interacciones con la fauna. © Justo Martín (A, B, E, G y H; España) y James Dwyer (C, D y F; EE. UU.)

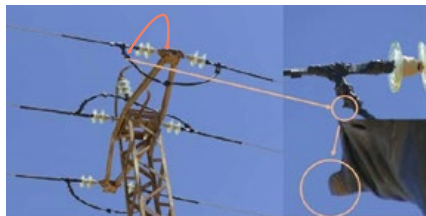


Figura 4.24. Aislamiento antiguo y deteriorado en el que actualmente hay piezas metálicas (marcadas por círculos, en la imagen de zum) al descubierto, lo que supone un riesgo de electrocución si un ave se posa en la cruceta (flechas rojas). Una mínima parte de metal al descubierto, incluso la cabeza de un tornillo, puede desencadenar una electrocución. España. © Justo Martín

Postes y/o crucetas aislantes o sin conexión a tierra. Como se expuso anteriormente, los postes que tienen conexión a tierra son los más peligrosos, ya que sólo con tocar un conductor se produce la electrocución. En este tipo de postes es más complejo (y costoso) adoptar configuraciones seguras, abordar cambios estructurales o instalar dispositivos de aislamiento. La utilización de crucetas o de postes de material aislante evita la conexión a tierra (al menos de todos los postes), reduciendo el riesgo de electrocución al contacto con dos conductores y facilitando la adopción de diseños con distancias seguras. Los postes de madera u otros materiales aislantes como la fibra de vidrio ofrecen esta ventaja, aun cuando monten crucetas metálicas. En postes metálicos o de hormigón armado la solución es instalar crucetas aisladas; existen ya en el mercado crucetas de materiales poliméricos con diseños que hacen prácticamente imposible las electroclusiones, aptas para montarse sobre todo tipo de postes⁵ (Figura 4.25).

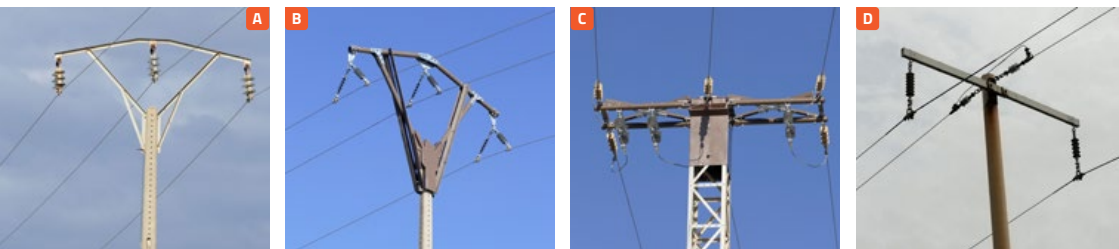


Figura 4.25. Las crucetas de materiales aislantes no precisan de puesta a tierra, de manera que la electrocución solo es posible por contacto entre dos conductores, lo que facilita el diseño de crucetas seguras (con ese tipo de materiales), e incluso la sustitución completa de las mismas (de materiales no aislantes a aislantes), conservando el poste. Los postes de material aislante (madera o fibra de vidrio), también pueden prescindir de la puesta a tierra, aunque la cruceta sea metálica, posibilitando igualmente diseños muy seguros. En las imágenes: cruceta metálica (A) sustituida en el mismo poste por una cruceta de material aislante (B); cruceta aislante (material de color marrón), con seccionadores, montada sobre poste metálico (C); cruceta metálica montada sobre un poste de fibra de vidrio (D), España. © Justo Martín (A, B y C) y ENEL/ENDESA (D)

⁵ Ejemplo de fabricante de crucetas aislantes: Birka Composites (<https://birka.es/productos/crucetas-aislantes/>)

Figura 4.26. En algunas configuraciones, colocar fundas de plástico rígido en la cruceta es una forma sencilla y barata de hacerlas seguras. Ratonero de montaña (*Buteo hemilasius*), Mongolia. © Proyecto Mohamed bin Zayed Raptor Conservation Fund



En las crucetas metálicas con bajada a tierra, para evitar la electrocución conductor-tierra se pueden colocar fundas de plástico rígido u otro material aislante en las zonas de posada (Figura 4.26), siempre y cuando no sean móviles o resbaladizos. Recubrir la cruceta con resinas aislantes (fácilmente aplicable como pintura) podría ser otra buena y sencilla forma de evitar o al menos reducir las electrocuciones, según recientes experiencias (Kolnegari et al., 2024).

Dispositivos disuasorios antiposada y/o antinidificación. Su función es evitar que las aves utilicen los postes, ya sea para posarse o instalar sus nidos, o que lo hagan en zonas seguras. Algunos dispositivos permiten el uso, pero no la nidificación, otros tienen el doble objetivo. Pueden ser de diferentes tipos: placas o varillas metálicas o de fibra de vidrio de diferentes formas y tamaños instalados sobre las zonas de posada, tejadillos sobre la cruceta, varillas con cabezales rotatorios movidos por el viento (con o sin espejos), etc. (Figura 4.27). En muchas ocasiones estos dispositivos se instalan con el objetivo principal de evitar o al menos reducir las incidencias en el suministro eléctrico debido a un uso intensivo de las aves de ciertos postes o tramos de línea, tanto en líneas de distribución como de transmisión. En las grandes torres de estas últimas algunas especies, como la cigüeña blanca, crean auténticas colonias, ocasionando problemas en el suministro eléctrico (Moreira et al., 2023).

Se ha ensayado el uso de emisiones sonoras que se activan al detectar las aves para reducir la utilización de los postes, pero hasta ahora los resultados han mostrado una efectividad relativamente baja, dependiente de la distancia a la fuente de sonido, el tipo de emisión y la propia sensibilidad de las especies (Ribeiro-Silva et al., 2025).

También se ha intentado desarrollar en las aves un comportamiento de aversión al uso de postes eléctricos, "entrenándolas" mediante pequeñas descargas eléctricas al posarse en postes dispuestos a tal fin. Sin embargo, los resultados no fueron concluyentes respecto a la eficacia del método y, en cualquier caso, la aversión tendía a disminuir con el tiempo (Kelly et al., 2015; Azkona et al., 2023).

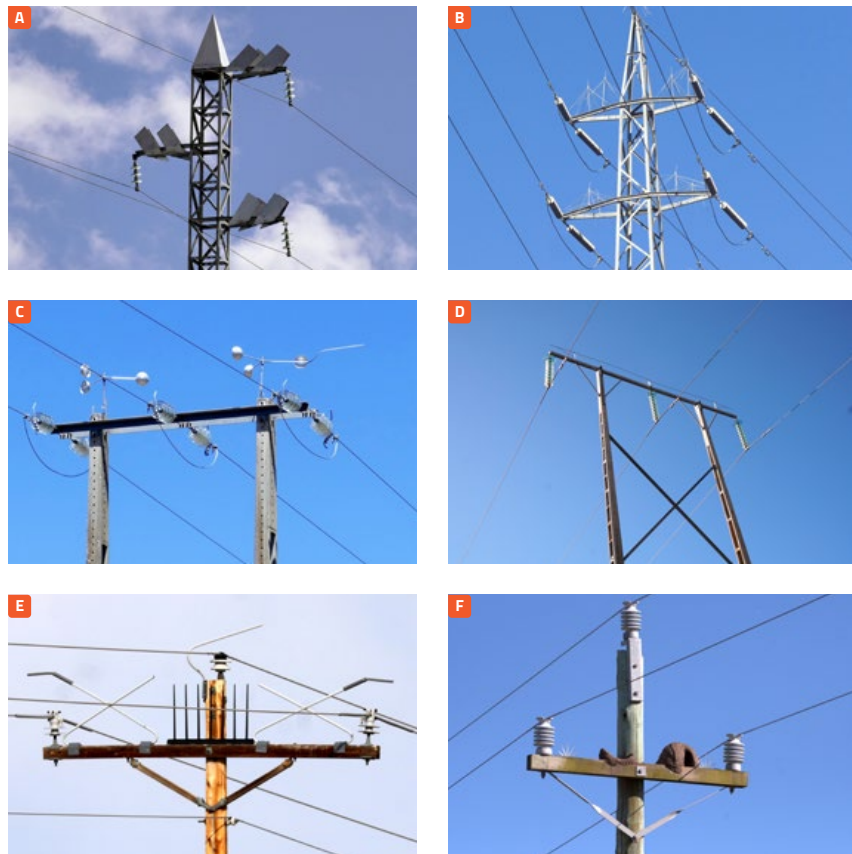


Figura 4.27. Ejemplos de elementos antiposada en líneas de distribución. A: placas metálicas rígidas; B: varillas metálicas antiposada fijas en forma de “paraguas”; C: copas giratorias con extensión antiposada; D: varilla de metal rígida por encima de la cruceta (las cuatro en España); E: combinación de varillas y aspas en X (EE. UU.); F: espinas de metal clavadas en el travesaño de madera (con nido de hornero común, *Furnarius rufus*) (Uruguay). © Justo Martín (A, B, C y D), James Dwyer (E); y Pablo G. Fernández (F)

Posaderos y plataformas de nidificación alternativas. Su objetivo es que las aves puedan utilizar los postes de manera segura. Se suelen añadir en la parte superior, alejados de los conductores, como un soporte o, en su caso, una pequeña plataforma que facilite la nidificación. Con frecuencia se instalan a la vez dispositivos disuasorios, para reforzar su efectividad. En el caso del uso de dispositivos antinidificación, se pueden instalar plataformas con nidos artificiales en las proximidades del poste para evitar la pérdida de territorios de cría (Figura 4.28).

Muchas de las medidas expuestas en este apartado son válidas tanto para las aves como para otros grupos zoológicos, y de hecho así se implementan.

Para el caso de la fauna arborícola o trepadora existen unas medidas específicas a las que se dedica el apéndice C de este manual.

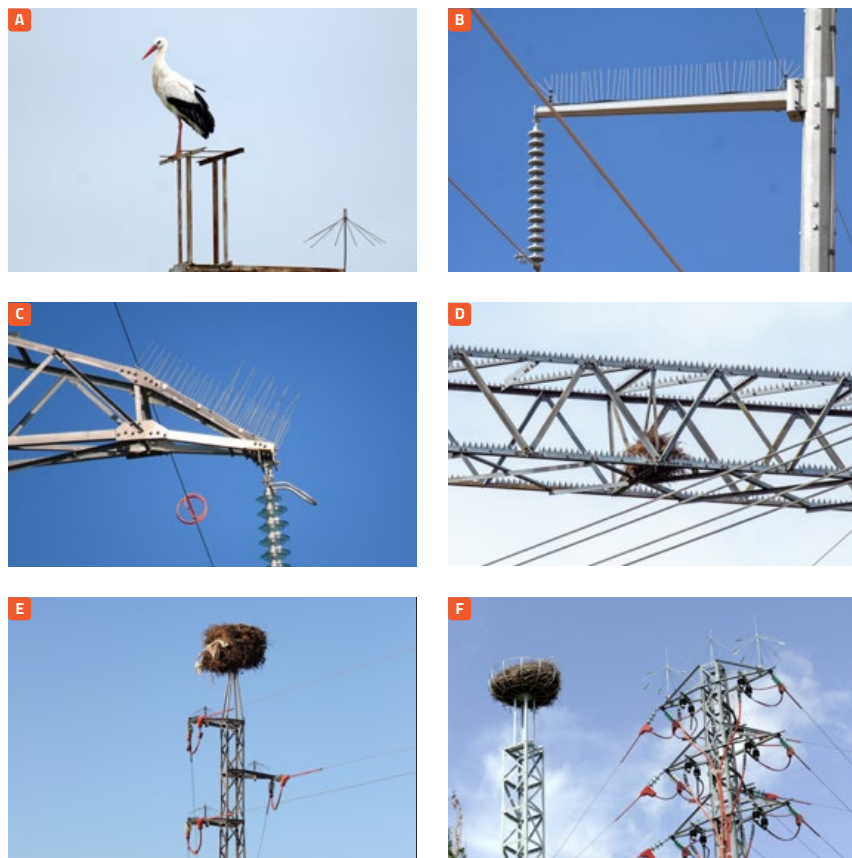


Figura 4.28. Otros ejemplos de elementos disuasorios antiposada. A: elemento antiposada tipo paraguas combinado con posadero elevado encima del poste; B: varillas antiposada sobre los brazos de la cruceta en un poste de distribución; C: estructura similar en el brazo de una torre de transmisión; D: espinas metálicas en los brazos de una torre de transmisión; E: plataforma elevada para nidificación, combinada con paraguas antiposada fijos; F: combinación de paraguas metálicos giratorios antiposada en la cruceta con la instalación de un nido artificial alternativo. © Justo Martín (A y F; España), James Dwyer (B; EE. UU.), Pedro Rivero (C y D; Uruguay) y Helena Clavero (E; España)

4.6. Eficacia de las medidas antielectrocción

Dejando de lado medidas definitivas como el soterramiento de la línea o el uso de conductores aislados, la eficacia del resto puede ser muy diferente. Las medidas estructurales, basadas en conseguir distancias de seguridad en todos los puntos potenciales de uso, son preferibles al aislamiento y los dispositivos antiposada.

Los elementos aislantes como solución única, sin cambios estructurales, tienen una efectividad que puede ser total, siempre que estén bien diseñados e instalados (Tintó et al., 2010; Chevallier et al., 2015; Figura 4.29). El inconveniente es que su eficacia y durabilidad depende mucho de la calidad de los materiales empleados y de que la instalación se realice adecuadamente. Incluso en el caso de utilizar buenos materiales e instalaciones garantizadas, su efectividad tenderá a disminuir con el paso del tiempo por el deterioro y envejecimiento de los materiales. Así, el aislamiento **hay que considerarlo siempre como una medida de carácter temporal, siendo necesarias revisiones periódicas de su estado y, en su caso, el reemplazo por deterioro o desgaste** ya que, de cualquier manera, tienen un plazo de vida útil.



Figura 4.29. La calidad de los materiales y piezas utilizadas en la fabricación del aislamiento determina su eficacia y sobre todo su durabilidad. En la imagen se aprecia claramente que el aislamiento de la izquierda está construido con un material más robusto y tiene un sistema de fijación más seguro. © Justo Martín

Diversos estudios han puesto de manifiesto estas circunstancias. Un trabajo realizado en EE. UU. (Dwyer et al., 2017) descubrió 56 aves electrocutadas pertenecientes a 10 especies diferentes en 52 torres de alta tensión dotadas de sistemas de aislamiento, revelando que en todos esos casos no se habían aplicado correctamente las medidas.

Las medidas estructurales, basadas en conseguir distancias de seguridad en todos los puntos potenciales de uso, son preferibles al aislamiento y los dispositivos antiposada

De manera similar, un proyecto de ciencia ciudadana llevado a cabo en Hungría (Demeter et al., 2018) alcanzó la revisión de más de 57 000 postes, detectando más de 3 400 casos de electrocución de 79 especies. El 3% de los restos se encontraron en postes que habían sido provistos de sistemas de aislamiento, concluyéndose que las medidas adoptadas no garantizaban una protección total.

Un estudio en el sur de España sobre mortalidad por electrocución en líneas eléctricas de águilas de gran tamaño reveló mayores tasas de mortalidad en postes dotados con sistemas de aislamiento que en postes de similares características sin esa protección. La revisión en detalle de los postes comprobó que los sistemas de aislamiento eran antiguos y se habían deteriorado con el paso del tiempo, habiendo perdido parte de su capacidad de protección. Su ubicación en zonas y/o puntos más atractivos para las águilas explicaba esas diferencias en las tasas de mortalidad entre postes con diseños semejantes (Guil et al., 2011). En la misma área geográfica, otro estudio halló que más del 12% de las electrocuciones de aves rapaces registradas en los últimos 20 años se habían producido en postes que aparentemente habían sido adecuadamente aislados (Garrido et al., 2018b).

Las **razones concretas por las cuales las medidas de aislamiento pueden no ser plenamente eficaces** se detallan a continuación (Dwyer et al., 2017; Martín Martín et al., 2017; Dwyer et al., 2019):

- **Instalación defectuosa.** Diversas circunstancias, a veces combinadas (una incorrecta o incompleta instalación de elementos, mezcla de componentes de diferentes fabricantes, mal ajuste de los elementos aislantes, segmentos de conductores o conectores no aislados, tornillos desprotegidos, conexiones defectuosas entre piezas, etc.) dan lugar a que el aislamiento no sea del todo seguro o que pierda la protección que ofrece mucho antes de la vida útil teórica de los materiales (Figura 4.30). Para evitar estos defectos es fundamental dotar a los técnicos de las compañías eléctricas de una formación específica sobre los dispositivos de aislamiento, cómo funcionan y cómo deben instalarse para maximizar su eficacia. En ocasiones el técnico de la instalación debe improvisar una solución con los materiales que tiene; sin esa formación su decisión puede ser incorrecta, invalidando el esfuerzo y gasto económico.



Figura 4.30. Ejemplos de instalaciones de aislamiento defectuosas (España). A: fundas aislantes instaladas sin elementos de retención, que se han desprendido y desplazado a lo largo del conductor, dejando al descubierto el tramo más próximo a las zonas de posada de las aves; B: funda aislante que se ha desprendido por el extremo debido a un mal ajuste y sujeción; C: el aislamiento no cubre toda la parte metálica, dejando un punto en tensión en la zona más próxima al posible punto de posada. © Justo Martín

- **Uso de materiales de mala calidad, poco duraderos o poco resistentes al voltaje para el que se instalan.** Aunque hay fabricantes que garantizan una vida útil de sus dispositivos de más de 20 años en condiciones climáticas extremas, lo cierto es que en el mercado conviven productos de calidad y diseño muy variable. Puede haber grandes diferencias en la resistencia, durabilidad y efectividad, poco apreciables a simple vista. El uso de materiales con baja resistencia a la tracción o sistemas de fijación poco fiables ocasiona que los dispositivos puedan romperse, abrirse o desprenderse en poco tiempo, dejando al descubierto los puntos peligrosos que se han querido proteger (Figura 4.31).

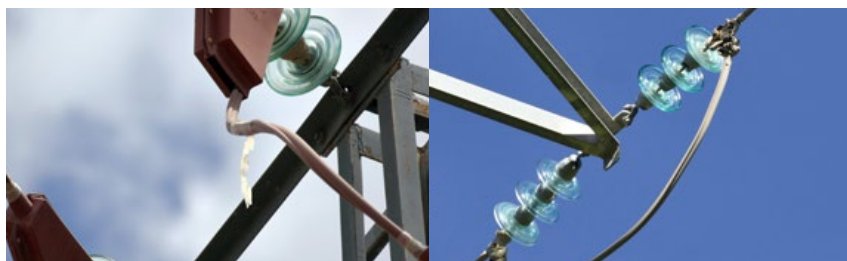


Figura 4.31. Si se utilizan materiales de baja calidad, los defectos pueden aparecer rápidamente. Izquierda: para fijar la funda del puente, se ha utilizado cinta adhesiva de mala calidad que se está despegando pocas semanas después de su instalación, con el riesgo de que pronto se desprenda y la funda se abra; derecha: en lugar de utilizar una pieza preformada para cubrir la grapa, se ha usado cinta aislante de mala calidad que en poco tiempo se ha deteriorado, dejando al descubierto partes metálicas, España. © Justo Martín

- **Puntos peligrosos que quedan sin protección.** Esto sucede sobre todo en los postes especiales que portan diferentes dispositivos, ya sea en la cruceta, en el poste o en crucetas o estructuras secundarias que proporcionan lugares de posada alternativos a la cruceta superior. En estos casos el aislamiento debe incluir las conexiones a los dispositivos (pararrayos, fusibles, seccionadores, etc.). Es muy importante incluir los terminales de conexión (Figura 4.32), son muchos los casos de electrocución que se producen en postes de este tipo donde los conectores han sido aislados, pero los puntos finales (terminales) de unión a los dispositivos han quedado desnudos.

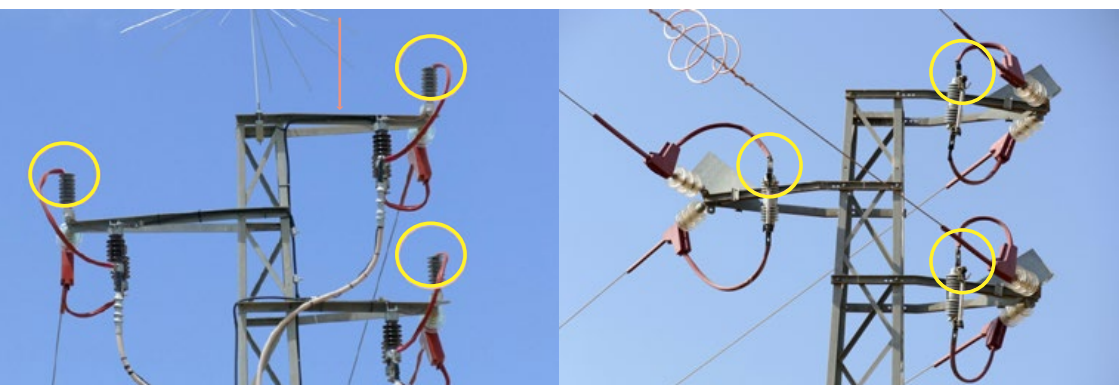


Figura 4.32. Es importante que en el acondicionamiento no se dejen partes peligrosas sin cubrir. Izquierda: poste de acometida subterránea provisto de aislamientos y dispositivo antiposada, donde, sin embargo, no está protegida la conexión con los apartarrayos (señalado con círculos) y, además, el dispositivo antiposada de la parte superior deja un hueco para la posada justo al lado del pararrayos (flecha naranja). Derecha: poste equipado con cortacircuitos fusibles de expulsión, donde los conectores se han cubierto pero el punto final de unión metálico ha quedado descubierto (círculos) y, además, la placa antiposada obliga al ave que intente posarse a colocarse justo al lado de ese punto peligroso. (España) © Justo Martín

- **Instalaciones que no tienen en cuenta el riesgo de electrocución por defecación.** Se pueden producir incidentes de este tipo (ver Fig. 4.7) en postes que presentan distancias seguras entre puntos peligrosos, pero no han tenido en cuenta este riesgo. El aislamiento del conductor o conector situado por debajo de la zona de posada resuelve este problema (Figura 4.33).
- **Trabajos de revisión y mantenimiento deficientes.** A veces las líneas eléctricas requieren operaciones de mantenimiento que implican la retirada del aislamiento, y, una vez realizadas, el aislamiento no vuelve a instalarse, o no se sustituye o repara en caso de tener deficiencias.

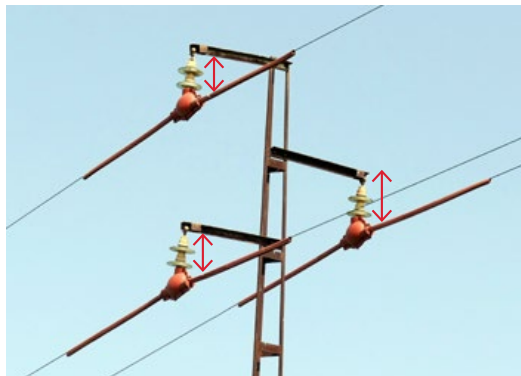


Figura 4.33. Poste con dise1o de cruceta en principio bastante seguro, aunque la poca distancia entre la zona de posada y el conductor inferior (menos de 30 cm), hace que exista riesgo de electrocuci3n por defecaci3n para aves de gran tama1o; con el aislamiento de los conductores se consigue hacerlo totalmente seguro.  Justo Martín

Por otro lado, es importante también tener en cuenta que la colocaci3n de **posaderos alternativos** no es muy útil si no va acompa1ada de otras medidas y, respecto a los **dispositivos antiposada**, aunque tienen la ventaja de ser la medida más barata y sencilla de instalar, suelen ser **menos eficaces** que los elementos aislantes. A la hora instalar elementos antiposada hay que tener muy en cuenta las especies objetivo para elegir un dise1o adecuado, pues un dispositivo puede ser efectivo para unas, pero no para otras (Dwyer y Doloughan, 2014; Tincher et al., 2020). Además, es muy importante elegir bien el punto o los puntos donde se instalan los dispositivos antiposada (Sánchez et al., 2020); si se ubican mal o el poste proporciona otros puntos de posada peligrosos donde no se instalan, pueden ser incluso contraproducentes. Algunas ubicaciones pueden dejar a las aves espacios para posarse más cerca de los puntos peligrosos (ver, por ejemplo, Figura 4.32 drcha.), o inducir las a buscar una zona de posada en otra parte del poste, propiciando que sigan produciéndose incidentes o que éstos aumenten (Dixon et al., 2019; Sánchez et al., 2020; Orihuela-Torres et al., 2021; Matsyna, 2023).

A la hora de la ubicaci3n así mismo hay que tener presente que las aves pueden intentar posarse sobre estos dispositivos; si hay un elemento en tensi3n por encima y el antiposada es metálico, se puede incluso facilitar el contacto entre puntos peligrosos, favorecido por las posturas, equilibrios y movimientos bruscos de alas que hace el ave en el intento. También en el caso de los metálicos, algunos dise1os y disposiciones introducen, además, riesgos de electrocuci3n por contacto con deyecciones. Además, si son rígidos o presentan filos o bordes cortantes, pueden producir heridas al animal (Figura 4.34). **En general, es un tipo de medida a evitar, a no ser que constituya la única opci3n posible.**

Con los **dispositivos antinidificaci3n** ocurre algo similar; pueden ser eficaces para unas especies, pero no para otras. Con frecuencia no logran impedir que las aves objetivo instalen sus nidos, manteniendo o incluso incrementándose los riesgos

Figura 4.34. Pecho de ejemplar de águila imperial ibérica con heridas producidas por un dispositivo antiposada; el ave murió de inanición, probablemente debido al debilitamiento sufrido por ellas. © CAD-CSMA



durante toda la época de reproducción, tanto para los progenitores como para sus crías (Prestes et al., 2024) (Figura 4.35).

Por su parte, las **plataformas suplementarias** también tienen una eficacia variable, según los diseños, tipos de postes y especies nidificantes; además, los materiales que caen del nido y las deyecciones de adultos y pollos pueden llegar a provocar problemas en el suministro eléctrico e incluso incendios.

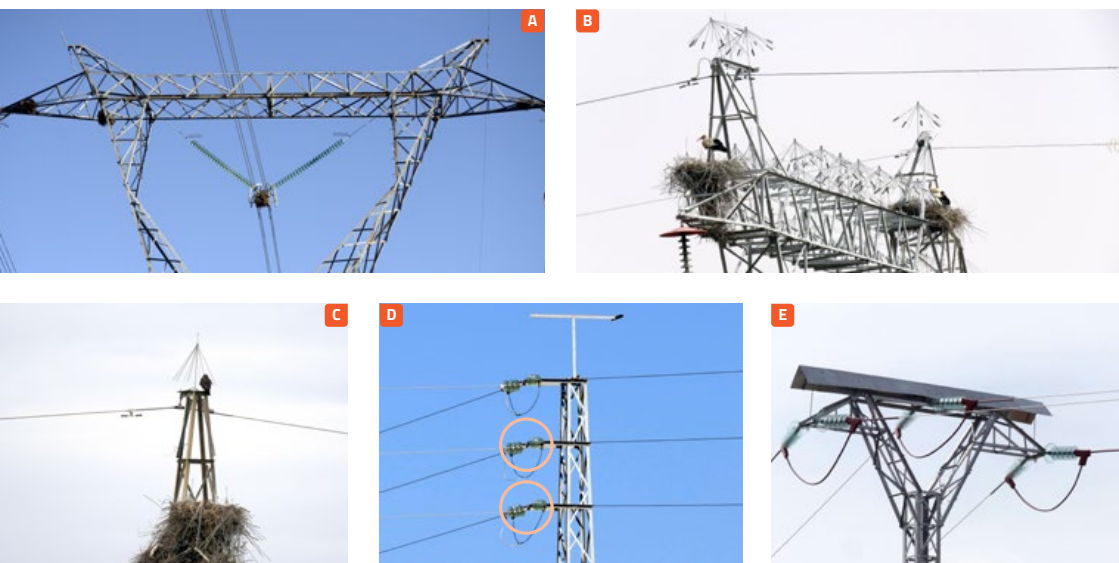


Figura 4.35. A, B y C: en muchos casos, los dispositivos antiposada no impiden que las aves construyan nidos, ni en los postes ni en las torres, ni tan siquiera evitan que se posen. Nidos de cotorra argentina, Uruguay (A) y nidos de cigüeña blanca (B, C). D: los posaderos alternativos son una opción poco válida por sí solos; en la imagen, los dos travesaños inferiores ofrecen una zona de posada muy peligrosa por la proximidad al puente superior. E: los dispositivos antinidificación pueden ser muy efectivos, aunque si permiten que las aves se posen, es necesario asegurar el soporte frente a posibles electrocuciones; en la imagen, dispositivo antinidificación tipo “tejadillo”. © Pablo G. Fernández (A) y Justo Martín (B, C, D y E)

En general, dispositivos antiposada y antinidificación ofrecen casi más inconvenientes que ventajas; su utilización como sistema único de protección puede ser desaconsejable y, según qué modelos, contraproducente. Los antiposada deben usarse teniendo en cuenta las especies objetivo y utilizando diseños cuya inocuidad y validez hayan sido probadas. Los elementos antinidificación deberían limitarse a casos concretos en postes especialmente problemáticos, estudiando y valorando las soluciones de forma particular.

En conclusión, y como se resume en la Tabla 4-2:

- Las soluciones estructurales son las más adecuadas, ya que su eficacia se mantiene en el tiempo.
- Los sistemas de aislamiento pueden ser muy eficaces, pero además de materiales de calidad precisan de personal especialmente formado y deben ser inspeccionados periódicamente para comprobar su eficacia y el posible deterioro con el paso del tiempo.
- Dispositivos antiposada, antinidificación, posaderos y nidales alternativos tienen una eficacia limitada, muy dependiente del tipo de poste, diseño del dispositivo y especies objetivo. Deberían utilizarse más bien como complemento de los anteriores que como sistema exclusivo de corrección. Igualmente, deben estar sometidos a revisiones y mantenimiento periódicos.

Tabla 4-2. Resumen de las medidas más comunes adoptadas para prevenir o mitigar las electrocutaciones, así como su eficacia y otras características. Se valora el costo para su implementación en las líneas ya existentes y su eficacia como medida única, sin combinarla con otras.

Medida	Tipo	Duración	Costo	Eficacia
Enterramiento	Estructural	Permanente	Muy alto	Total
Conductores aislados de fábrica	Estructural	Permanente	Muy alto	Casi total
Configuración segura de crucetas	Estructural	Permanente	Alto	Muy alta
Separación de elementos en tensión	Estructural	Permanente	Alto	Muy alta
Aislamiento de partes peligrosas	No estructural	No-permanente	Medio-alto	Alta
Dispositivos antiposada	No estructural	No-permanente	Medio-bajo	Baja-media
Posaderos alternativos	No estructural	No-permanente	Medio-bajo	Baja

Fuente: elaboración propia

4.7. Elección de las medidas

- **Las medidas basadas en utilizar diseños de postes y crucetas que garanticen distancias seguras entre puntos con diferente tensión son preferibles debido a su carácter permanente**, pero pueden ser muy costosas de implementar en líneas ya operativas. Por ello es fundamental que el riesgo de electrocución se tenga en cuenta en el momento de la planificación y diseño de la línea, de manera que se elijan postes con diseños seguros, que no impliquen necesariamente un mayor costo que aquellos con diseños peligrosos para la fauna (Figura 4.36).
- **En el caso de líneas existentes, la elección de las medidas a aplicar en un territorio determinado debe ser coherente con las posibilidades técnicas y sobre todo económicas**, para aprovechar al máximo los recursos y esfuerzos disponibles. La aplicación de medidas antielectrocución suele tener un costo elevado, sobre todo si implican cambios estructurales y se persigue eliminar totalmente el riesgo. Si el presupuesto es limitado, puede ser preferible elegir medidas menos eficaces pero que puedan aplicarse a un mayor número de líneas o postes.
- **Conseguir el equilibrio entre máxima seguridad con el mínimo costo** debe ser el objetivo a alcanzar para maximizar el número de postes corregidos, centrandose siempre la actuación en los puntos negros y, dentro de ellos, en los soportes más peligrosos.
- **En ese sentido, es importante seleccionar muy bien el tipo de medidas**; en algunos diseños poco peligrosos, para garantizar la seguridad puede ser suficiente un sencillo dispositivo antiposada, mientras que en otros será necesario abordar medidas más complejas y costosas si se quiere eliminar eficazmente el riesgo, caso de los postes especiales.
- **Dadas las dimensiones de las redes eléctricas, la aplicación de medidas antielectrocución debe centrarse en la protección de las especies más sensibles** y que sufren los mayores impactos a nivel local; una medida que es necesaria en un lugar por la presencia de una determinada especie puede ser completamente inútil en otro si esta especie no está presente.

- **Otro factor a tener en cuenta es la propia seguridad de la red:** en zonas donde existan elevadas concentraciones de aves sensibles a la electrocución, aunque éstas no tengan problemas de conservación, debería ser prioritario acometer medidas antielectrocución, cuyo costo será menor que el de los daños que los incidentes de electrocución puedan causar; máxime si además puede haber riesgo de incendios forestales por este motivo.



Figura 4.36. A la hora de elegir las medidas, es muy importante evaluar las especies sensibles objetivo, seleccionar buenos materiales y garantizar una instalación adecuada. La imagen muestra cómo los dispositivos anti-posada instalados no impiden que las aves utilicen el poste, y las pone en riesgo de sufrir lesiones; además, una funda de un conductor se ha soltado debido a una instalación defectuosa (España). © Íñigo Fajardo

Conseguir el equilibrio entre máxima seguridad con el mínimo costo debe ser el objetivo a alcanzar para maximizar el número de postes corregidos, centrando siempre las actuaciones en los puntos de alta mortalidad

5

Colisiones

Justo Martín Martín¹, James F. Dwyer² y Richard E. Harness²

¹ *JMM Consultant (consultor independiente)*

² *EDM International, Inc., EE. UU.*



Figura 5.1. Aunque las aves suelen ser capaces de ver y evitar las líneas eléctricas mientras vuelan, en condiciones adversas de mala visibilidad o de otra naturaleza (vientos fuertes, lluvia intensa), todo tipo de líneas pueden suponer un peligro de colisión. Golondrina de mar negra (*Hydrobates markhami*) muerta como consecuencia de una colisión con una línea eléctrica de distribución, Chile. Por Benjamin Gallardo vía iNaturalist Chile. CC BY-NC

5.1. El riesgo de colisión

De todas las interacciones negativas entre aves y tendidos eléctricos, las colisiones son las más comunes, ya que cualquier línea eléctrica aérea puede constituir un obstáculo en su vuelo. Cuando la visibilidad es buena, normalmente las aves pueden detectarlas con bastante antelación y evitarlas, generalmente pasando por encima de ellas. Sin embargo, cuando la visibilidad es escasa por las condiciones meteorológicas, por la noche o en los primeros y últimos momentos del día, pueden ser incapaces de detectarlas o hacerlo demasiado tarde para evitar la colisión. Además, no todas las aves tienen la misma capacidad para hacerlo.

Las líneas eléctricas recorren espacios geográficos que pueden ser muy diferentes en cuanto a su relieve, clima o hábitats presentes. Además, presentan dimensiones, estructuras y voltajes variados. Todo este conjunto de factores, interrelacionando entre sí y con las especies de aves presentes, determinan la probabilidad de que se produzcan colisiones.

Así, **el riesgo de colisión para un ave depende de tres tipos de factores:**

- Las características de la línea eléctrica
- El tipo de ave y su comportamiento
- Los factores ambientales

A diferencia de las electrocuciones, las características de la línea eléctrica no constituyen el factor más determinante, siendo ciertos aspectos del tipo de ave relacionados con su comportamiento y movilidad los más importantes. Como en las electrocuciones, los factores ambientales juegan un papel determinante en el riesgo final.

(Para todo el capítulo, ver revisiones de: APLIC, 2006; Lehman et al., 2007; Prinsen et al., 2011a; Ferrer, 2012; Environmental Impact Services, 2013; Eccleston y Harness, 2018; Martín Martín et al., 2022).

5.2. Factores que influyen en el riesgo de colisión

5.2.1. Características de la línea eléctrica

Varias características inherentes a las líneas eléctricas, como la altura de la línea o la presencia de cable de guarda o de tierra, influyen en el riesgo de colisión. Aunque algunas de ellas están relacionadas con el voltaje de la línea, no existe una relación directa entre éste y el riesgo de colisión. Sin embargo, es cierto que esos factores están determinados en gran medida por las restricciones técnicas del diseño de la red en los distintos niveles de voltaje, que son relativamente rígidas. Restricciones que están ligadas a cuestiones de ingeniería, fiabilidad del servicio y seguridad pública, condicionadas además por el costo y las decisiones de las compañías eléctricas, los gobiernos nacionales y los organismos reguladores (Bernadino et al., 2018). Esas características que determinan el riesgo de colisión son las siguientes:

- **Diámetro de los conductores y presencia de cables de guarda.** El cable de guarda que llevan las líneas de transmisión en su parte superior es mucho más delgado que los conductores y, por lo tanto, menos visible (Figura 5.2). Aparentemente, cuando las aves se acercan a las líneas eléctricas, detectan

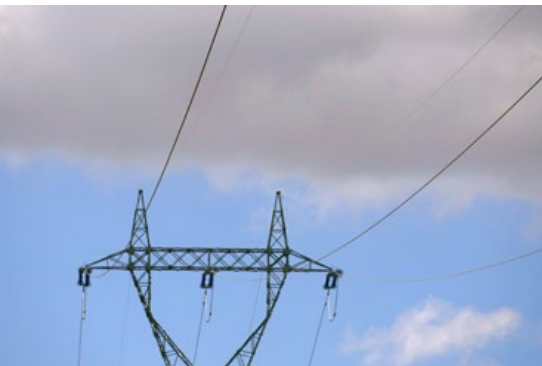


Figura 5.2. La mayoría de las colisiones se producen en líneas con cables de guarda en la parte superior de las torres de transmisión. Los cables de guarda suelen ser mucho menos visibles que los conductores. © Justo Martín



Figura 5.3. En zonas con alta densidad de líneas eléctricas, con muchos planos de cables horizontales, el riesgo de colisión es importante. Líneas de transmisión asociadas a la presa de Itaipú, en Paraguay. Por Leandro Neuman vía Wikimedia Commons. CC BY 2.0

en primer lugar los conductores, siendo su comportamiento habitual remontar por encima del obstáculo para evitarlo, colisionando entonces con el cable de guarda. Este parece ser uno de los principales factores que determinan el riesgo de colisión, responsable de la mayor parte de las colisiones; en una recopilación de 208 casos de este tipo de incidentes, más del 80% se habían producido con el cable de guarda (Bernardino et al., 2018).

- **Número de planos horizontales en que se disponen los cables.** Presumiblemente, el riesgo de colisión podría estar influido por el número de planos horizontales que determinan los cables (conductores y cables de guarda) y la distancia que los separa. Las disposiciones verticales, con hasta 4 niveles de cables, constituirían una barrera mucho más peligrosa que las configuraciones horizontales, con solamente uno o dos planos de cables (Figura 5.3). Aunque algunos estudios apoyan este lógico razonamiento, lo cierto es que la evidencia científica existente es limitada; se necesitan más investigaciones para evaluar el peso relativo de este factor en los patrones de las colisiones con aves (APLIC, 2012; Bernardino et al., 2018; Marques et al., 2020).
- **Amplitud de los vanos.** La distancia entre torres o postes es un elemento que parece afectar al riesgo de colisión, ya que los accidentes son menos frecuentes cerca de los apoyos que en la mitad de los vanos; las líneas con vanos muy largos serían pues potencialmente más peligrosas (Bernardino et al., 2018).

- **Altura de la línea y los cables sobre el suelo.** Generalmente, cuanto más alta es la estructura, mayor es el riesgo de colisión. Esto se debe sobre todo a que las estructuras más altas se relacionan con voltajes más elevados y suelen llevar entonces cable de guarda y presentar vanos más largos. Esto llevaría a deducir que las líneas de transmisión son más peligrosas que las de distribución; y aunque hay algunos estudios que así lo evidencian (como Infante et al., 2005; Shaw et al., 2018), otros muestran lo contrario (Gilad et al., 2024). Lo cierto es que se producen colisiones en todo tipo de líneas y que el entorno donde se encuentran es decisivo en el riesgo de colisión.

En conclusión y en general, **las líneas eléctricas de mayor altura, con vanos más largos, presencia de cables de guarda y con disposición vertical de los conductores, serían potencialmente las más peligrosas desde el punto de vista estructural.**

5.2.2. Tipo de aves sensibles a la colisión

Al contrario de lo que ocurre con la electrocución, el riesgo de colisión no depende del uso que hagan las aves de las líneas eléctricas; de hecho, aquellas que más las utilizan para posarse o nidificar no parecen ser las más sensibles (Pigniczki et al., 2019). Su sensibilidad a la colisión depende de características intrínsecas relacionadas con su morfología, especialmente su capacidad visual y de vuelo, además de otros rasgos relacionados con el comportamiento. Aquellas especies con una combinación especialmente negativa de estos factores muestran una elevada sensibilidad a la colisión (RGI, 2024). En algunos casos incluso se ha comprobado que varía con la edad, siendo las juveniles mucho más susceptibles a las colisiones que las adultas (Crivelli et al., 1988; Brown y Drewien, 1995). Estas características son las siguientes:

- **Percepción visual.** En general, las aves tienen los ojos ubicados lateralmente en el cráneo, de manera que poseen una visión binocular estrecha, bastante más que la de los humanos. Además, las aves no suelen mirar al frente durante el vuelo (excepto las que viven en ambientes forestales), e incluso algunas suelen volar con la cabeza inclinada hacia abajo (por ejemplo, en busca de comida, agua o miembros de la misma especie o especies competidoras). Todo esto hace que las aves estén poco preparadas para percibir los obstáculos que tienen por delante e incluso a que presenten una zona ciega por delante en la dirección del vuelo; ellas han evolucionado en un cielo libre de obstáculos, antes de que el ser humano

lo alterase construyendo líneas eléctricas y otras infraestructuras (Martin, 2011a; 2017; D'Amico et al., 2018). Así, las aves con campos visuales especialmente estrechos y/o ese tipo de comportamientos, como algunas grandes rapaces, avutardas, grullas y cigüeñas, son más propensas a sufrir colisiones (Martin y Shaw, 2021; Martin et al., 2021; Cantlay et al., 2025; Figura 5.4).

- **Capacidad de vuelo.** La velocidad y maniobrabilidad en vuelo de las aves depende de características como su peso, tamaño y longitud y forma de las alas. Las aves más pesadas y con alas más pequeñas en relación con su masa corporal, como las avutardas, ánsares, anátidas y otros grupos de aves acuáticas, tienden a tener una menor capacidad de maniobra en el aire. Algunas además vuelan muy rápidamente, no siendo capaces de reducir su velocidad para evitar un obstáculo incluso detectándolo (Janss, 2000; Bernardino et al., 2019).
- **Agrupamiento y gregarismo.** Las especies que se desplazan agrupadas tienen un mayor riesgo de colisión con las líneas eléctricas. Las posibilidades de maniobrar dentro del bando son menores, es posible chocar con otros integrantes y la visión



Figura 5.4. En general, las aves tienen los ojos ubicados lateralmente en el cráneo, de manera que poseen una visión binocular estrecha y muy limitada, bastante más que la de los humanos. Esto hace que estén poco preparadas para percibir los obstáculos que tienen por delante, incluso presentan una zona ciega en la dirección del vuelo. Gallineta morada (*Porphyrio martinica*), llanos de Colombia. © Félix Romera

está restringida por los que van por delante. Si además se trata de especies con baja capacidad de maniobra, como muchas aves acuáticas, cigüeñas, garzas, grullas, etc., las posibilidades de colisión se incrementan (Bernardino et al., 2019; Bevanger, 1998; Janns, 2000; Jenkins et al., 2010; APLIC 2012).

- **Vuelos de cortejo, caza y defensa territorial.** Especies que buscan u obtienen su alimento en vuelo, defienden territorios frente a otros congéneres o despliegan vuelos de cortejo con acrobacias y persecuciones, caso de muchas rapaces, pueden tener un mayor riesgo de colisión con las líneas eléctricas próximas. La disminución de la conciencia espacial en favor del enfoque en la presa, competidor o pareja, unido al aumento de la velocidad, implica un menor tiempo de reacción (Bevanger, 1998; Bernardino et al., 2019). Además, la prolongada duración y distancias recorridas en los vuelos de prospección incrementan la probabilidad de encuentros con líneas eléctricas (APLIC, 2012).
- **Desplazamientos diarios.** Cuando los movimientos desde o hacia las zonas de alimentación y/o reproducción atraviesan zonas con líneas eléctricas, hay un riesgo de colisión que depende de factores como su ubicación y orientación respecto a las líneas de vuelo, frecuencia de paso, etc. (APLIC, 2012). La frecuencia de los vuelos puede aumentar mucho durante la época de reproducción, cuando los progenitores multiplican sus viajes en busca de comida; este momento es además especialmente sensible, pues la muerte de uno de ellos puede incidir en el éxito reproductivo (Henderson et al., 1996; Bernardino et al., 2018; Bateman et al., 2023). En el caso de las aves nocturnas o que se desplazan durante la noche, el riesgo aumenta por la menor visibilidad de los cables (Bevanger, 1998; Rubolini et al., 2001; D'Amico et al., 2018).
- **Desplazamientos migratorios.** Las aves que realizan grandes desplazamientos migratorios pueden mostrarse muy sensibles a las colisiones con líneas eléctricas. En su recorrido atraviesan territorios desconocidos, con frecuencia formando bandos numerosos. Aunque muchas especies se desplazan a gran altura, entran en riesgo cuando descienden al suelo en las paradas migratorias. Todo esto conlleva un cierto grado de vulnerabilidad, particularmente para las aves juveniles, menos experimentadas en el vuelo y no familiarizadas con las características geográficas del paisaje (Bevanger, 1994; Brown y Drewien, 1995; APLIC, 2012; D'Amico et al., 2018; Bateman et al., 2023). Las especies que migran de noche, como los passeriformes y muchas aves acuáticas, pueden estar particularmente expuestas a este riesgo (Janns, 2000; APLIC, 2012). Este



Figura 5.5. Muchos grupos de aves acuáticas son especialmente sensibles a la colisión por su tipo de vuelo, costumbre de moverse en bandos y tener bastante movimiento al anochecer y al amanecer, momentos con menor visibilidad. Grupo de corocoras (*Eudocimus ruber*) en vuelo, llanos de Colombia. © Félix Romera

peligro se agrava cuando las condiciones meteorológicas adversas obligan a las aves a volar a altitudes más bajas, donde aumenta la probabilidad de encontrar obstáculos (Bevanger, 1998; APLIC, 2012).

Atendiendo a estos factores, **las grandes aves acuáticas y de medios abiertos (como praderas y estepas) son particularmente susceptibles a las colisiones** debido a su combinación de alta carga alar (peso que soportan las alas por unidad de superficie), velocidad de vuelo, tendencia a reunirse en bandos y posibilidad de encontrarse con líneas eléctricas en sus desplazamientos en ambientes sin obstáculos naturales (Burnside et al., 2015; Collar et al., 2017; Pigniczki et al., 2019; Alonso et al., 2024; Figura 5.5).

En el caso de las **aves acuáticas**, otro factor adicional de riesgo es su costumbre de volar al anochecer (especialmente cuando regresan a sus dormideros comunitarios). Entre las esteparias, el grupo de las avutardas tiene un campo visual especialmente reducido, lo que limita su capacidad de percepción de la línea aérea; a menudo sólo detectan el obstáculo cuando ya es demasiado tarde para desviar su trayectoria de vuelo (Shaw et al., 2010; Shaw et al., 2017).

Algunos estudios apuntan a que los medianos y pequeños **paseriformes** podrían ser un grupo especialmente sensible a las colisiones, impacto que estaría muy subestimado debido a la mayor dificultad de localizar sus cadáveres y a la alta tasa de desaparición de los mismos por la acción de depredadores y carroñeros (Domínguez del Valle et al., 2015; Drolet y Lapointe, 2025).

A partir de las características morfológicas y rasgos de comportamiento, y considerando otros factores como el estatus de conservación y la mortalidad conocida, algunos autores han elaborado **índices de sensibilidad a la colisión**, estableciendo diferentes categorías

y particularizados para cada especie que evalúan el riesgo de mortalidad por esta causa. Estos índices pueden utilizarse para valorar el riesgo de un proyecto determinado a la hora de la planificación ambiental, combinando los índices de las especies allí presentes (Bernotat y Dierschke, 2021). A una escala geográfica mayor, combinando estos índices con la distribución de las especies, sus movimientos migratorios y la ubicación de las líneas eléctricas, se pueden establecer o determinar áreas prioritarias o sensibles a la colisión donde focalizar los esfuerzos de mitigación (D’Amico et al., 2019; Gauld et al., 2022; un buen compendio de estos trabajos se puede consultar en el documento elaborado por *Renewables Grid Initiative* (RGI, 2024); ver también capítulo 7).

En la Tabla 5-1 se muestran los principales grupos de aves con mayor sensibilidad a la colisión con líneas eléctricas y las características que determinan esa sensibilidad.

Tabla 5-1: Grupos de aves con mayor sensibilidad a la colisión con líneas eléctricas, a partir de estudios realizados en diferentes partes del mundo.

GRUPOS DE AVES*	Tamaño de alas, peso, velocidad y maniobrabilidad	Visión	Gregarismo / vida en bandadas	Migración de larga distancia	Aves nocturnas y/o migración nocturna	Movimientos diarios entre zonas de alimentación y descanso	Caza aérea
Pelícanos, garzas, garcetas, ibis, etc. (Pelecanidae, Ardeidae, Threskiornitidae)	x	x	x	x	x	x	
Grullas, rascones, gallinetas, gallaretas (Gruidae, Rallidae)	x	x	x	x	x	x	
Patos, gansos, cisnes (Anatidae)	x	x	x	x	x	x	
Limícolas, gaviotas, golondrinas de mar, petreles, cigüeñas (Charadriiformes, Ciconiiformes)	x	x	x	x	x	x	
Avutardas y afines (Otididae)	x	x	x	x		x	
Zambullidores, cormoranes (Podicipodiformes, Suliformes)	x	x	x	x			
Rapaces diurnas (Falconiformes)	x	x		x		x	x
Rapaces nocturnas (Strigiformes)		x		x	x		
Aves terrestres voladoras (Galliformes)	x	x		x	x		
Paseriformes o pájaros cantores (Paseriformes)	x		x	x	x		

Fuente: preparado a partir de RGI, 2024 y Bateman et al., 2023
* No todas las especies de un mismo grupo muestran la misma sensibilidad.
Puede haber otros grupos sensibles no incluidos porque aún no hay estudios que lo avalen.



Figura 5.6. A nivel local, en las zonas montañosas pueden formarse corrientes ascendentes de ladera, empujando a las aves hacia arriba, originando riesgo de colisión en el caso de que existan en esa zona líneas eléctricas. © Elaborado a partir de fotografía de Daniel Burón

5.2.3. Factores ambientales

Los factores ambientales, incluyendo la intervención humana directa, influyen de diferentes maneras en el riesgo de colisión.

Topografía

Las características geográficas del territorio determinan la forma en la que se desplazan las aves en vuelo, tanto las rutas que siguen como la altura sobre el suelo. Determinados **elementos como crestas, pasos de montaña, valles fluviales y depresiones geológicas, juegan un papel destacado, canalizando y concentrando las rutas de vuelo de las aves residentes y migratorias**. Es lógico pensar que las líneas eléctricas que cruzan estos puntos supondrán un alto riesgo de colisión si las aves sobrevuelan estas zonas a baja altura. Aunque se ha podido comprobar que así sucede para ciertas especies (Bevanger, 1994; Haas et al., 2005), en otras este efecto no está tan claro (Luzenski et al., 2016). A nivel local, la topografía puede favorecer la formación de **corrientes ascendentes** de ladera, que son utilizadas por las aves planeadoras cuando su ruta migratoria transcurre paralela a las cadenas montañosas. Estas corrientes pueden literalmente empujar a las aves ladera arriba (Figura 5.6), provocando colisiones con líneas eléctricas dispuestas tanto transversal como longitudinalmente (G. Babiloni, com. pers.).

Características del hábitat

En los **paisajes abiertos** con escasos obstáculos naturales, como humedales, praderas, estepas y desiertos, las aves están acostumbradas a volar a baja altura sin riesgo. Estos ecosistemas reúnen con frecuencia elevadas concentraciones de aves

durante la migración, de manera que las líneas eléctricas que los recorren presentan un alto riesgo de colisión; a ello también contribuye la frecuente formación de brumas y nieblas en esos ambientes, debido a fenómenos de inversión térmica. También las ubicadas en otros puntos de concentración de avifauna, como **zonas costeras, riberas fluviales o depósitos de residuos urbanos**. En estos lugares tienen un especial riesgo las líneas próximas a los lugares donde los bandos de aves despegan o aterrizan, al igual que las que cruzan ríos, utilizados por muchas aves como corredores de vuelo. En las **zonas boscosas**, las aves que se desplazan por encima de las copas de los árboles pueden sufrir colisiones con las líneas que sobrepasan el dosel forestal. Para las aves que se mueven por dentro del bosque, el riesgo se encuentra en las líneas que transcurren a lo largo de los pasillos forestales que se crean para este fin (Shimada, 2001; Bernardino et al., 2018).

Condiciones meteorológicas y de visibilidad

Ciertas condiciones meteorológicas como lluvia, nieve, niebla espesa o nubes muy bajas empujan a las aves a volar más cerca del suelo, al tiempo que hacen las líneas eléctricas menos visibles. En estas situaciones se registran los episodios de colisiones más graves. En general, cualquier circunstancia que implique una **visibilidad reducida** conlleva un mayor riesgo de colisión, especialmente al amanecer y al anochecer, así como durante la noche (Figura 5.7). Los **vientos fuertes**, en particular los de cola o cruzados, dificultan las maniobras de las aves, aumentando así el riesgo (Bernardino et al., 2018). En ambientes desérticos, las tormentas de polvo o arena también son responsables de muchas colisiones de aves en vuelo (Shobrak, 2012; Al Nouri, com. pers.). Un aspecto que podría tener influencia es la posición de las

Figura 5.7. Las condiciones meteorológicas influyen decisivamente en el riesgo de colisión, especialmente cuando reducen la visibilidad. Fotos de una misma línea eléctrica en diferentes condiciones meteorológicas, España. © Justo Martín



líneas eléctricas en relación con la salida y puesta de sol. Las líneas que discurren de norte a sur podrían representar un riesgo potencial mayor que las que corren de este a oeste, dependiendo de las trayectorias de vuelo de las aves. Cuando los pájaros vuelan hacia el sol **al amanecer o al anochecer**, las líneas perpendiculares a su trayectoria situadas por delante podrían resultarles menos visibles por efecto del deslumbramiento (Ferrer y Janss, 1999).

Perturbaciones causadas por el ser humano

Numerosas actividades humanas, como las agrícolas, turísticas o el propio mantenimiento de las líneas eléctricas, pueden **perturbar a las aves e inducirles a vuelos de huida**. Las molestias en zonas donde se reúnen grupos de aves y hay líneas eléctricas en las direcciones de vuelo, pueden provocar colisiones de manera frecuente. Pero también estas zonas de presencia humana continua pueden ser **evitadas** de forma intencionada por las aves, siendo entonces lugares con un bajo riesgo de colisión (Shaw et al., 2018; Silva et al., 2010). Finalmente, la **presencia de otras estructuras** podría distraer la visión de las aves y su capacidad para detectar las líneas eléctricas. Esto parece suceder con las turbinas eólicas en rotación; un estudio realizado dentro del Proyecto de Aves Migratorias Planeadoras – Egipto (BirdLife International, 2021) ha documentado que muchas aves planeadoras (especialmente pelícanos y cigüeñas) chocan con las líneas eléctricas adyacentes a parques eólicos operativos. Probablemente la influencia de este aspecto es muy variable según las características locales.

Sobre todos estos factores ambientales, influye la **estacionalidad**. El problema será mayor en las épocas del año en las que se producen las congregaciones más grandes de aves sensibles (el otoño-invierno en zonas de invernada de aves acuáticas) y cuando la visibilidad suele ser más escasa (especialmente en invierno, con tiempo lluvioso o con niebla). La escasez de luz durante el invierno y principios de la primavera se ha relacionado con un mayor riesgo de colisión, especialmente para las aves acuáticas nocturnas, que pueden reaccionar menos eficazmente a la fuerza del viento en la oscuridad. Los cambios estacionales en los cultivos y en los hábitats naturales también influyen en los tipos, densidad y distribución de las aves presentes, con las consiguientes diferencias de riesgo entre unas épocas y otras (APLIC, 2012; Bernardino et al., 2019).



Figura 5.8. Las líneas eléctricas situadas cerca de zonas de congregación de aves presentan un alto riesgo de colisión. Congregación de aves en un humedal colombiano. © Félix Romera

5.3. Líneas eléctricas peligrosas y puntos negros de colisión

Los estudios realizados apuntan que el principal factor que determina la peligrosidad de una línea eléctrica frente al riesgo de colisión es la presencia de ciertos tipos de aves, cuya biología y comportamiento las hacen más susceptibles a este tipo de accidentes. Además, como se ha visto, ciertas características del hábitat y la ubicación de las líneas eléctricas influyen decisivamente en que ciertas líneas sean particularmente peligrosas. Al contrario de lo que ocurre con la electrocución, las características de la línea eléctrica tienen una importancia mucho menor en el riesgo potencial de colisión.

Las colisiones se concentran en ciertos puntos de la red eléctrica donde confluyen ese conjunto de factores; dentro de las zonas donde determinadas especies son más abundantes y se congregan en grandes grupos durante las épocas de reproducción y/o invernada en sus zonas de alimentación o descanso, como es el caso de muchas especies de aves acuáticas, cigüeñas, avutardas, grullas y ciertos passeriformes



Figura 5.9. Las ubicaciones próximas a sitios de concentración de aves deben considerarse situaciones de alto riesgo de colisión. Grupo de caranchos (*Caracara plancus*) en torre de transmisión, Uruguay. © Pablo G. Fernández

La identificación de puntos de alta mortalidad por colisión debe priorizarse para, posteriormente, aplicar en ellos las medidas mitigadoras más eficaces

(Figura 5.8), en aquellos tramos de línea donde los factores ambientales influyen en su visibilidad y detectabilidad. Estos puntos son **los puntos negros de colisión**, y los esfuerzos deben enfocarse a encontrarlos y aplicar en ellos las medidas mitigadoras más eficaces según nuestras posibilidades. Desde el punto de vista de la prevención y planificación, las ubicaciones cercanas a sitios de congregación de aves, puntos de anidación, colonias de reproducción, sitios de descanso, etc. deben considerarse situaciones de alto riesgo de colisión, al igual que aquellas zonas geográficamente sensibles donde se concentran los flujos de aves y las rutas de vuelo (Figura 5.9).

Evitar estas áreas a la hora de **planificar nuevas líneas o priorizar en ellas las medidas de mitigación** es crucial para prevenir y reducir el riesgo de colisión (ver apéndice B para una descripción más detallada de las situaciones).

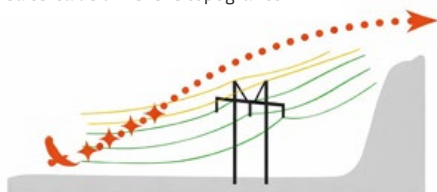
5.4. Medidas anticolidión (preventivas, mitigadoras y correctoras)

Existen diferentes tipos de medidas para evitar las colisiones; según el momento en que se apliquen, se pueden clasificar en medidas preventivas y medidas correctoras y mitigadoras. **Las preventivas tratan de evitar el problema antes de que ocurra, mientras que las correctoras y mitigadoras lo resuelven, respectivamente, total o parcialmente**, de forma permanente o temporal dependiendo de la solución adoptada, que puede incluso implicar modificaciones estructurales en la línea eléctrica. Es decir, las medidas correctoras corrigen por completo el impacto, mientras que las mitigadoras solo lo disminuyen, pero no lo eliminan por completo. La mayoría de las medidas preventivas también pueden usarse para corrección o mitigación si se aplican a posteriori (ver revisiones de Prinsen et al., 2011b; APLIC, 2012; Ferrer, 2012; Bernardino et al., 2018; Comisión Europea, 2018; Martín Martín et al., 2022). La selección de medidas anticolidión debe tener en cuenta no sólo las posibilidades técnicas y económicas para aprovechar al máximo los recursos y esfuerzos disponibles, sino también las especies objetivo, aquellas más sensibles a nivel local a sufrir impacto.

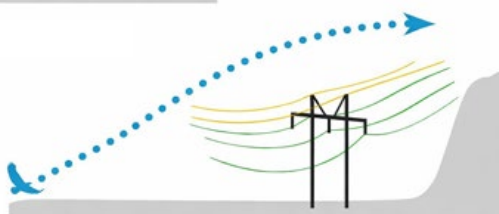
Planificación de la ruta. La mejor medida preventiva es no instalar líneas eléctricas en zonas consideradas de alto riesgo (Figura 5.10). Esto es posible con una buena planificación a la hora de diseñar los trazados de las futuras líneas eléctricas, incluso durante los estudios de impacto ambiental, la evaluación de los diferentes trazados y la elección de los más viables técnica y económicamente y los más respetuosos con el medio ambiente (ver capítulo 8). Algunos estudios aconsejan agrupar las líneas eléctricas de manera que constituyan un único obstáculo (APLIC, 2012), habiéndose observado que, si los postes se disponen de manera alterna, el riesgo de colisión es menor (Pallett et al., 2022); en otros no se han observado diferencias de mortalidad entre líneas aisladas y líneas agrupadas en paralelo (Drolet y Lapointe, 2025).

Enterramiento de líneas. Es sin duda la solución definitiva, con rápidos efectos positivos; en una región entre el este de Austria y el oeste de Hungría donde se enterró una línea especialmente problemática para una población de avutarda, la reducción de la mortalidad produjo una mejora significativa de los efectivos de la población en menos de cinco años (Raab et al., 2012).

1. Línea cerca de un relieve topográfico



A. Situación de riesgo elevado

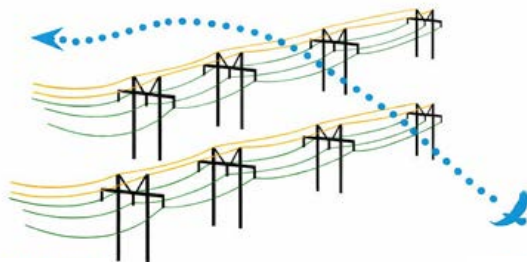


B. Situación de menor riesgo

2. Línea cerca de un área frecuentada por aves sensibles



A. Situación de riesgo elevado



B. Situación de menor riesgo

— Fase — Cable de guarda

Figura 5.10. La planificación de las nuevas líneas eléctricas es fundamental para reducir al mínimo el riesgo de colisión. Arriba: La planificación debe considerar las rutas de vuelo y la topografía local para evitar situaciones de riesgo. Abajo: Es aconsejable combinar los recorridos de líneas eléctricas vecinas para crear un único obstáculo y hacerlo más visible; la eficiencia es mayor si las torres de las diferentes líneas se disponen de forma alternada. Fuente: adaptado de APLIC, 2012 y Pallett et al., 2022

Manejo del hábitat. Dado que el riesgo de colisión está muy directamente relacionado con la presencia y desplazamientos de determinadas especies de aves, reducir o reconducir sus movimientos, por ejemplo, creando nuevas zonas de alimentación y descanso, puede ser una buena medida de prevención y mitigación a posteriori. Sin embargo, esto puede suponer actuaciones en el paisaje de costo elevado, aparte que no es sencillo cambiar los patrones en poblaciones asentadas. Esta medida estaría reservada a situaciones y especies muy concretas, sin dejar de lado la señalización de las líneas problemáticas.

Uso de conductores aislados. Los conductores aislados, más visibles que los desnudos, pueden ser una buena forma de reducir el riesgo de colisión, especialmente si se utilizan de forma trenzada, creando un único elemento muy visible. Tanto la sustitución de una línea con conductores desnudos como la instalación de una nueva con estas características tiene un costo elevado. Además, en el caso de los cables trenzados existe una restricción técnica, ya que esta disposición no es viable para tensiones superiores a 30 KV, lo que obliga a utilizarlos solo en líneas de distribución de menor voltaje (Figura 5.11).



Figura 5.11. A diferencia de la electrocución, la adopción de medidas estructurales no es la mejor solución para prevenir colisiones, debido a su elevado coste y a su eficacia no probada. Línea de transmisión en doble circuito con tres niveles de cables en la Región de O'Higgins, Chile. Por ShootingStarMax vía Wikimedia Commons. CC BY-SA 4.0

Modificación de la configuración de la línea aérea. Teniendo en cuenta los diversos factores estructurales que afectan al riesgo de colisión (presencia de cables de guarda, conductores en diferentes planos, aumento del peligro en la mitad del tramo), teóricamente podrían adoptarse e implementarse ciertas medidas estructurales para reducir el riesgo. Sin embargo, la mayoría de estas medidas generalmente no son técnica y económicamente viables, y en los raros casos en que algunas de ellas se han aplicado, no siempre se ha demostrado su eficacia (para más información, ver la recopilación en Bernardino et al., 2018).

Instalación de cables de guarda de gran diámetro. El uso de cables de guarda con diámetros similares a los conductores podría ser una medida interesante (Bernardino et al., 2018), pero hasta la fecha no se han realizado estudios sobre su posible efectividad. Sería una línea de investigación a explorar. Su eliminación, aunque técnicamente es posible, comprometería la seguridad y estabilidad del sistema eléctrico, así como otras funciones relacionadas con las telecomunicaciones en el caso de uso para transporte de fibra óptica.

Señalización de las líneas eléctricas. La incorporación de diferentes tipos de dispositivos de señalización para hacer la línea eléctrica más visible y aumentar su detectabilidad por parte de las aves es la medida de mitigación más utilizada para reducir las colisiones de aves en líneas eléctricas. El término genérico para estos dispositivos es balizas, salvapájaros o señalizadores. Desde que se introdujeron en la década de 1960 en algunos países europeos, se han probado diversos tipos de formas y materiales. (Figura 5.12). Estas balizas se instalan en el cable de guarda o en los conductores en tramos donde se han producido colisiones y de forma preventiva en tramos potencialmente peligrosos o de alto riesgo (ver apartado anterior).

El uso de sonidos como sistema para ahuyentar o alejar aves se ha probado y se usa en ciertos lugares sensibles a su presencia, como aeropuertos. En general, su efectividad es baja, las aves acaban acostumbrándose y los diferentes grupos de aves no reaccionan igual según el tipo de sonido y su frecuencia de emisión (Thady et al., 2022; Klug et al., 2023). No hay estudios ni experiencias concretas sobre el uso de señalizaciones sonoras para evitar la colisión con líneas eléctricas.

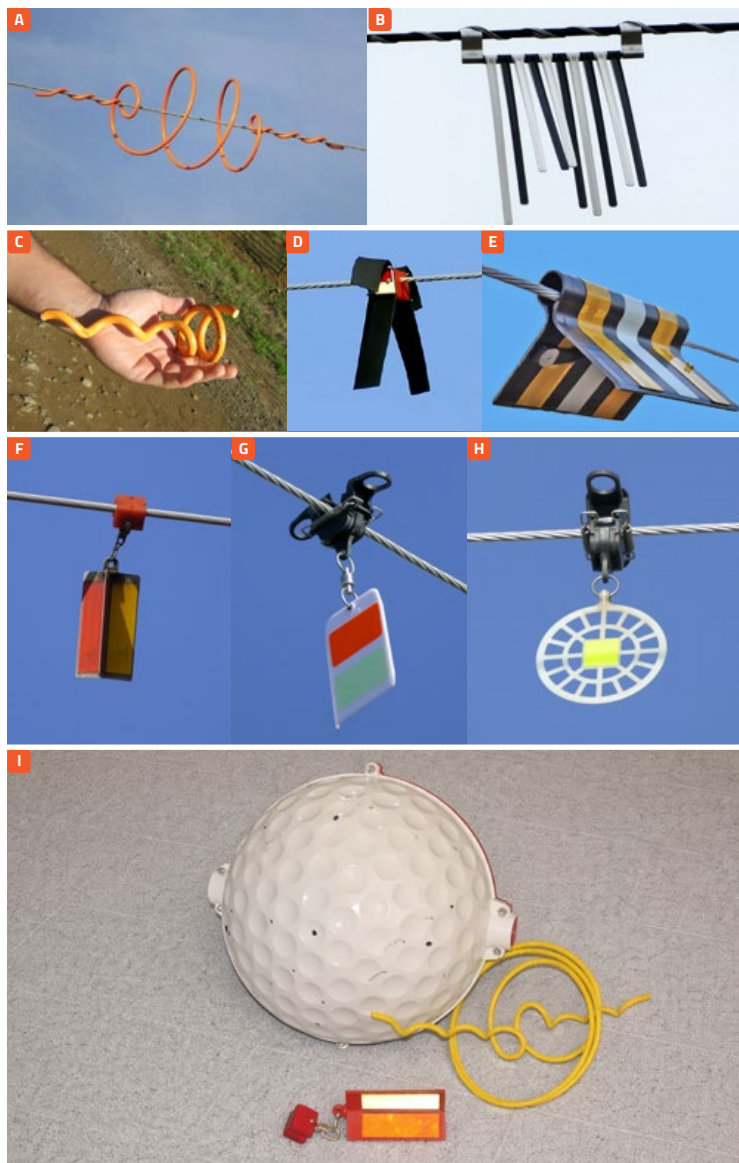


Figura 5.12. Diferentes tipos de desviadores de vuelo para aves. A: espiral grande fijada por los dos extremos; B: tiras plásticas móviles; C: espiral fijada por un lateral 'cola de cerdo'; D: tiras de neopreno; E: dispositivo móvil con elemento reflectante; F: dispositivo giratorio reflectante de tres caras; G: reflector catadióptrico giratorio de doble cara; H: reflector catadióptrico fijo de doble cara; I: esfera de señalización de líneas para aviación (de 1 m de diámetro) junto con los dispositivos descritos en A y F, para comparar el tamaño. © Justo Martín

La Tabla 5.2 presenta un resumen de las principales medidas preventivas y correctoras anticolidión, así como los diversos factores a considerar a la hora de elegir qué método adoptar.

Tabla 5-2. Características de las principales medidas anticolidión preventivas y correctoras.

Medida	Tipo	Duración	Costo	Eficacia
Planificación de la ruta	No estructural	Permanente	Medio-bajo	Alta-media
Gestión del hábitat	No estructural	Permanente	Alto-muy alto	Alta-media
Enterramiento	Estructural	Permanente	Muy alto	Total
Conductores aislados	Estructural	Permanente	Alto-muy alto	Muy alta-alta
Configuración de línea	Estructural	Permanente	Alto-muy alto	Baja
Señalizadores/ Balizas salvapájaros	No estructural	No-permanente	Medio-bajo	Alta a baja

Fuente: elaboración propia

De todas estas medidas expuestas, la mayoría son muy costosas, o técnicamente complejas o hay dudas sobre su eficacia. Entre ellas la señalización ha demostrado tener una buena relación costo/eficacia, de manera que es la medida más extendida y utilizada en todo el mundo.

Normalmente la instalación de este tipo de dispositivos se realiza con la línea desenergizada, para garantizar la seguridad. Sin embargo, en ciertas condiciones, cuando no es posible cortar el suministro (líneas muy críticas, sin alternativa, etc.) puede operarse con la línea energizada, siempre y cuando se disponga de personal cualificado para los medios y procedimientos necesarios.

La señalización ha demostrado tener una buena relación costo/eficacia, de manera que es la medida más extendida y utilizada en todo el mundo

5.5. Tipos de dispositivos señalizadores

Existen en el mercado diferentes tipos de balizas señalizadoras que se pueden clasificar en dos grandes grupos, **balizas “pasivas” y balizas “activas”**.

Las balizas pasivas son dispositivos sin elementos móviles, normalmente rígidas y de una sola pieza, aunque algunos diseños pueden tener varias partes y cierta movilidad por el viento. Las más comunes son las esferas y espirales.

- **Esferas.** Las mismas esferas que se utilizan para la seguridad de la navegación aérea también se usan para evitar las colisiones de aves. Suelen ser de color blanco, rojo, naranja o bicolores combinando el blanco, con un diámetro de 60 o 91 cm (según la Organización de Aviación Civil Internacional). También existen modelos diseñados específicamente para las aves, que combinan una mitad de color rojo con otra verde fluorescente (*Avisphere*), o amarillos con bandas negras.
- **Espirales.** Elementos de una pieza con forma en espiral con uno o dos puntos de fijación al cable. Con diferentes diámetros y colores, las más utilizadas son las de dos puntos, con más de 30 cm de diámetro y de color amarillo, naranja o rojo. Son quizá los dispositivos más usados y extendidos.
- **Otros dispositivos rígidos.** Además de las esferas y espirales existen otros dispositivos rígidos con variadas formas y diseños. La mayoría disponen de elementos reflectantes y/o luminiscentes e incluso pueden tener cierta movilidad con el viento.

Las balizas activas tienen dos partes, una fija, con la que se sujetan al cable, y una móvil, que queda suspendida de la fija y que se mueve por acción del viento, bien balanceándose, bien girando sobre sí misma, según el diseño. Existen diseños variados, pero en todos ellos la parte móvil tiene colores contrastados (negro/blanco) y/o está provista de elementos reflectantes, fluorescentes y/o fotoluminiscentes.



Figura 5.13. Dispositivos anticolidión instalados en una línea de transmisión sobre un solo cable de guarda, Uruguay (izquierda) y sobre los dos en un patrón alterno, España (derecha). © Pedro Rivero (izq.) y Justo Martín (dcha.)

Las balizas **se instalan preferentemente sobre el cable de guarda, cuando existe, o sobre los conductores de manera alterna**; en raras ocasiones sobre ambos a la vez. Los estudios realizados indican que su eficacia es mayor cuanto menor sea la distancia entre balizas; las recomendaciones varían entre un mínimo de 5 m y un máximo de 20 m (Jenkins et al., 2010; NABU, 2013; BirdLife International, 2022; Martín Martín et al., 2022). Esta recomendación coincide con los estudios que evalúan la eficacia de los marcadores de aves a intervalos variables (Liesenjohnn et al., 2019; Silva et al., 2023).

En las **líneas de transmisión** normalmente se marcan solo los cables de guarda (Figura 5.13). Si hay dos cables de guarda, se marca uno solo o los dos, colocándose las balizas de manera escalonada (más recomendable).

En las **líneas de distribución** el espaciado se aplica a todo el grupo de cables; así, por ejemplo, si la línea además de los tres conductores (los denominamos A, B, C) tiene cable de guarda (G), y se decide señalar todo ellos tomando una distancia de 5 m, los salvapájaros se instalarán con el siguiente patrón: conductor A, salto de 5 m, conductor B, salto de 5 m, conductor C, salto de 5 m, cable de guarda G, salto de 5 m y regreso al conductor A (ver apéndice B). Al escalonar las balizas de esta manera, se consigue un intervalo de 5 m entre ellas a lo largo del tramo marcado, si bien el intervalo en cada cable individual es de 20 m (Figura 5.14). En puntos especialmente

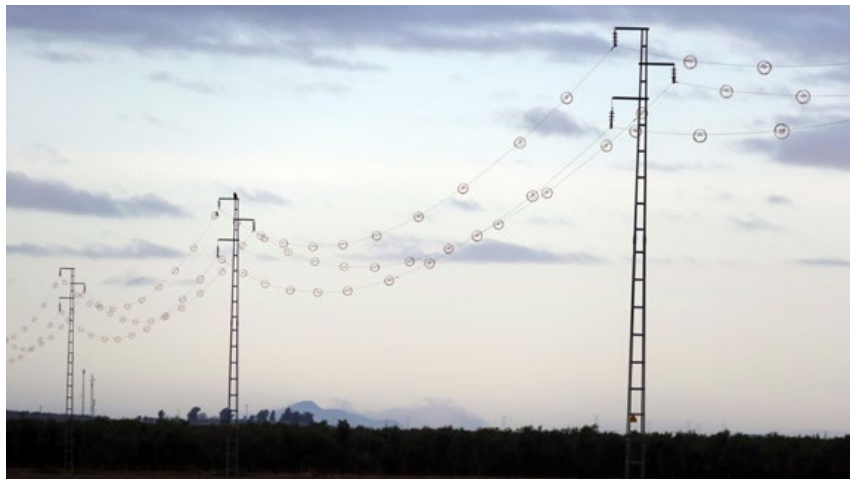


Figura 5.14. Dispositivos anticoisión instalados en una línea de distribución, en un patrón alternativo en los tres conductores, Andalucía (España). © Justo Martín

problemáticos, llega a marcarse tanto la línea de guarda como todos los conductores. En otros casos, las balizas se colocan solo en los dos conductores superiores en un patrón alternativo, o incluso únicamente en el conductor más elevado. Cuando hay varios circuitos, a menudo solo se marca el cable exterior de cada circuito (Cerezo et al., 2010; APLIC, 2012; Martín Martín et al., 2022).

5.6. Eficacia de los dispositivos señalizadores

Numerosos estudios en diversas partes del mundo demuestran que la señalización reduce las colisiones, si bien con una efectividad muy variable, oscilando entre menos del 10% y más del 90% (incluso el 100%), con un promedio de alrededor del 50% (Alonso et al., 1994; Barrientos et al., 2011; Barrientos et al., 2012; Bernardino et al., 2019; Gális y Ševčík, 2019; Verbelen et al., 2024).

En cuanto a la efectividad comparada de los distintos tipos de dispositivos, parece que **depende de diferentes factores, incluido el tipo de aves involucradas** (Bernotat et al., 2018; Liesenjohann et al., 2019; Verbelen et al., 2024). Las investigaciones más

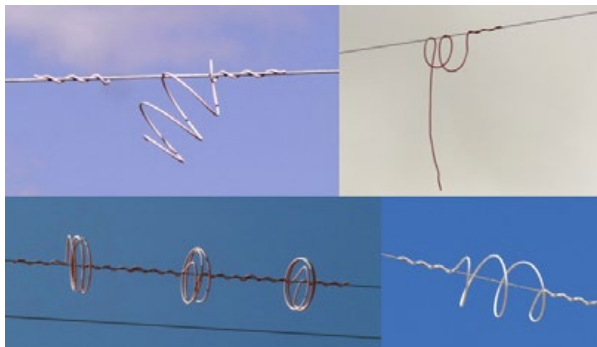


Figura 5.15. Los marcadores con elementos móviles y reflectantes parecen ser los más eficaces. Además, son sencillos de instalar y no requieren cortes del suministro. Línea equipada con dispositivos fijos en el cable de guarda y dispositivos móviles reflectantes en los conductores, España. © Justo Martín

recientes apuntan a una mayor efectividad de los dispositivos con elementos móviles (Bernardino et al., 2018; Ferrer et al., 2020b; Verbelen et al., 2024; Figura 5.15). Estos resultados están en línea con los estudios sobre la percepción visual de las aves, que indican que percibirían mejor los elementos con grandes contrastes de color (blanco y negro) y móviles (Martín, 2011a; Martín, 2022).

Para algunos grupos de aves, el marcaje de líneas resulta poco efectivo, caso de las otíidas (avutardas, sisonas, hubaras), que tienen como uno de sus principales problemas de conservación, sino el mayor, el de la colisión con líneas eléctricas (Bernardino et al., 2018; Uddin et al., 2021; Silva et al., 2023). La causa estaría en que este grupo de aves parece tener una visión frontal particularmente pobre en vuelo (Martín y Shaw, 2010), además de que, como las rapaces, tienden a volar con la cabeza inclinada hacia delante para examinar el terreno (Martín, 2022). Muchas de estas especies se encuentran gravemente amenazadas, de manera que es urgente investigar otras opciones de mitigación que resulten eficaces para ellas (Marques et al., 2020; Shaw et al., 2021); dispositivos de mayor tamaño dispuestos más próximos entre sí podrían aumentar la eficacia de la señalización para estos grupos (Martín, 2022). En ciertos casos es posible que la única solución para preservar sus poblaciones sea el enterramiento de las líneas eléctricas (Collar y Kessler, 2024). En América no hay representantes de este grupo, pero ciertas especies de tinamúes o inambúes (llamadas también perdices) comparten algunos aspectos de su biología

Figura 5.16. Las balizas con el tiempo pierden color, se rompen o se desplazan por el cable, disminuyendo o perdiendo su eficacia; por eso deben considerarse una solución no permanente, sometida a revisiones y mantenimiento. España. © Justo Martín



(viven en medios abiertos, vuelo de baja maniobrabilidad), de manera que podrían llegar a sufrir una problemática similar.

Con el tiempo las balizas pierden la coloración y pueden romperse, deslizarse a lo largo del tramo, caerse al suelo o perder la capacidad de movimiento, perdiendo entonces quizá no toda, pero sí parte de su efectividad. Las que tienen partes móviles, por su propio diseño, serían menos resistentes y más proclives a romperse; en estos casos el diseño y la calidad de los materiales pueden hacer variar mucho la durabilidad de los dispositivos, especialmente en lugares con climas extremos (Dashnyam et al., 2016). Es por ello que no pueden considerarse una solución permanente; realmente requieren una revisión y un mantenimiento periódico (Figura 5.16).

5.7. Avances recientes en señalización y monitoreo de líneas

Dispositivos luminosos

Los marcadores pierden eficacia en condiciones de baja luminosidad (lluvia, niebla), especialmente durante la noche (Pavón-Jordán, 2020), de manera que, además del movimiento y la existencia de superficies reflectantes y que brillan en la oscuridad, se están desarrollando dispositivos luminosos. La luz que emiten proviene de baterías que se cargan con paneles solares, o bien directamente a través de los conductores sobre los que se instalan, pudiendo emitir una luz continua o destellos periódicos. Existen

modelos que producen luz en el espectro visible y otros que emiten luz ultravioleta, invisible al ojo humano pero que ciertas especies y grupos de aves son capaces de detectar (Tyler et al., 2014; Harness et al., 2016b).

Balizas luminosas. Las líneas eléctricas ubicadas en las cercanías de aeropuertos, cruces de valles y ríos se señalizan con balizas luminosas, según recomendaciones de la Organización Internacional de Aviación Civil. Esas balizas se instalan en los conductores, de donde toman la energía para emitir una luz roja continua. Existen experiencias del uso de estas balizas como sistema anticolidión para aves; algunas compañías han desarrollado modelos específicos de balizas con dispositivos luminosos o han incorporado la capacidad de emitir luz a modelos ya existentes. Existen en el mercado variaciones de dispositivos móviles con elementos reflectantes con un elemento luminoso añadido en la parte superior, alimentado por una batería que se carga con luz solar y que puede emitir destello en luz visible (blanca, roja) o ultravioleta (PLP, s.f.; SAPREM, s.f.; Figura 5.17). El uso de balizas luminosas es hasta ahora muy limitado, aunque algunos estudios han demostrado su eficacia; en Sudáfrica unos marcadores de luz (LED) alimentados por energía solar consiguieron reducir la incidencia de colisiones nocturnas en una especie de flamenco (Pretorius et al., 2017). Otro estudio en España, con dispositivos emisores de luz ultravioleta, mostró ser eficaz para la reducción de colisiones en una zona previamente muy conflictiva (Redeia, com. pers.). Estos resultados son alentadores para la reducción de incidencias con ciertas especies sensibles, pero se necesitan más estudios que cuantifiquen su efectividad y evalúen, además, si esa producción nocturna de luz tiene consecuencias no deseadas sobre otras especies de aves u otros grupos faunísticos.

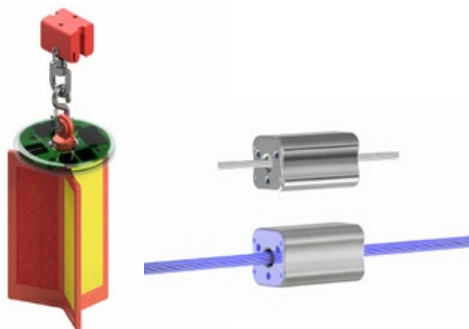
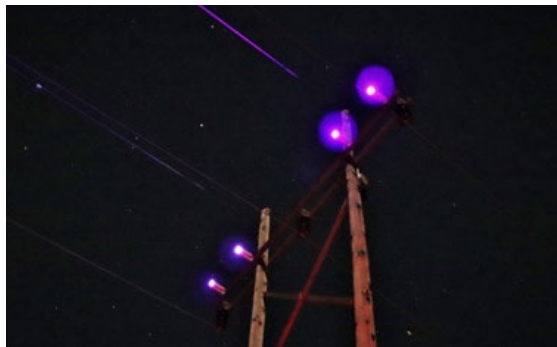


Figura 5.17. A la izquierda, marcador de línea que combina elementos reflectantes con la emisión de luz flash ultravioleta, producida por una pequeña batería alimentada por energía solar; a la derecha, dispositivo montado en una fase que toma directamente la energía de esta y emite una luz ultravioleta a ambos lados, iluminando un tramo del cable. El modelo de la izquierda está disponible comercialmente, el de la derecha es un prototipo. © SAPREM

Figura 5.18. El ACAS (*Avian Collision Avoidance System*) ilumina las líneas eléctricas con luces ultravioleta para evitar colisiones © James Dwyer/EDM Internacional, Inc.



ACAS (*Avian Collision Avoidance System*). Es un dispositivo que, montado sobre el poste, proyecta haces de luz ultravioleta, iluminando un tramo de línea eléctrica. Este aparato ha demostrado ya su eficacia, consiguiendo una reducción de hasta casi el 100% de las colisiones en las pruebas realizadas. Además, modifica el comportamiento de las aves, que tienden a volar más alto al acercarse al tramo iluminado (Figura 5.18; Dwyer et al., 2019b; Baasch et al., 2022).

Sistemas automáticos de instalación

Cuando la línea es de nueva construcción, la instalación de balizas es un proceso sencillo. Sin embargo, en líneas ya existentes, reviste una mayor dificultad. La instalación manual requiere de operadores especializados que trabajan desde estructuras especialmente diseñadas, incluso desde helicópteros (Figura 5.19). En este último caso, son necesarios equipos de hasta cuatro expertos (un piloto, dos técnicos de línea y un especialista en mantenimiento y reabastecimiento de combustible de helicópteros) que trabajan juntos. El proceso es peligroso e implica que el piloto maniobre un helicóptero lo suficientemente cerca de los cables de guarda como para que un técnico de línea instale manualmente cada baliza. El proceso también es logísticamente complejo y requiere la coordinación entre una compañía eléctrica, una tripulación de helicóptero muy solicitada y costosa, una agencia reguladora de la aviación y una agencia reguladora ambiental necesaria para otorgar los permisos necesarios para el reabastecimiento de combustible en el campo y la posible perturbación de la vida silvestre. Las compañías eléctricas también deben contar con planes de contingencia en caso de accidentes.

Ciertos modelos de balizas pueden instalarse de forma automática con robots operados desde tierra, que incluso son capaces también de desinstalar balizas defectuosas

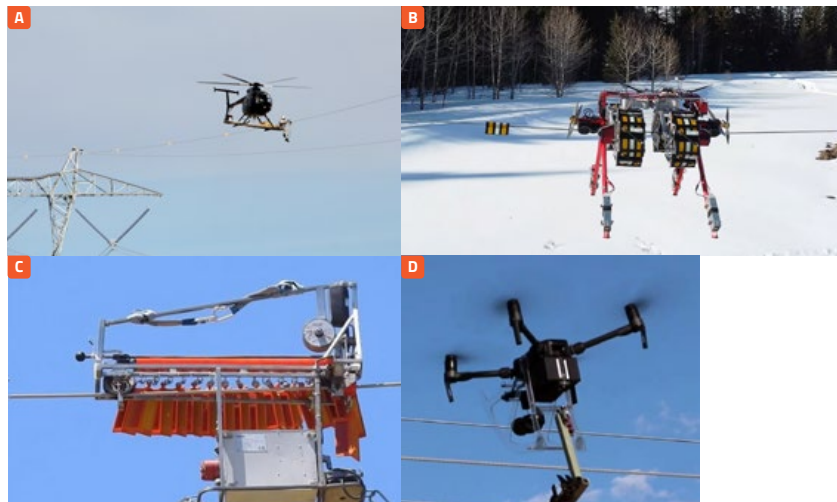


Figura 5.19. A: instalación de salvapájaros en helicóptero © EDM International, Inc.; B: robot de instalación de salvapájaros desplegado por UAS (Fulcrum Air, Calgary AB) © James F. Dwyer y Richard E. Harness; C: robot de instalación de salvapájaros desplegado por SAPREM © SAPREM; D: instalación de salvapájaros por dron © James F. Dwyer y Richard E. Harness

(SAPREM, s.f.; Figura 5.19). También en varios países del mundo, se han diseñado drones (aeronaves no tripuladas) capaces de instalar de forma autónoma balizas en los cables (Figura 5.19; Acklen et al., 2020). Estos sistemas, además de minimizar el riesgo humano, reducen el costo respecto a las operaciones con operarios y desde helicópteros, permitiendo la colocación de salvapájaros en prácticamente cualquier tramo de la línea.

Monitoreo de colisiones

Monitorear de forma directa las colisiones tiene un costo elevado, ya que los observadores deben permanecer en el campo durante períodos prolongados. Además, la detección de eventos de colisión durante la noche o en condiciones meteorológicas adversas se hace prácticamente imposible, precisamente en los momentos donde hay una mayor probabilidad de que sucedan. Para abordar estos desafíos, se han desarrollado dispositivos automatizados para detectar la mortalidad de aves. Entre estos medios de detección se incluyen:

- Indicadores de colisión con aves
- Monitores de actividad animal

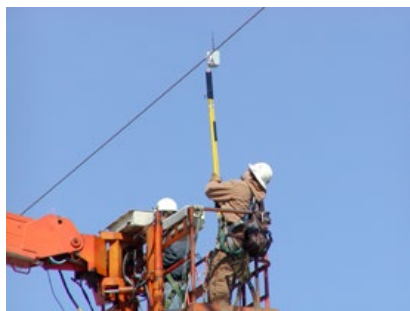


Figura 5.20. Trabajadores de línea instalando un indicador de colisión de aves en un cable de guarda. © James F. Dwyer y Richard E. Harness

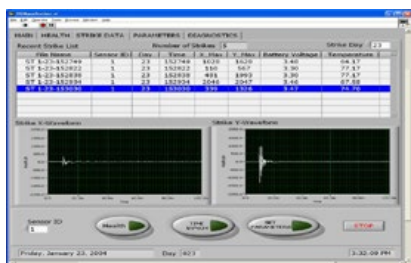


Figura 5.21. Señal de impacto de ave registrada y enviada a la estación base. © James F. Dwyer y Richard E. Harness

El indicador de colisión con aves (Figura 5.20) instalado en los cables detecta las vibraciones causadas por los choques de aves por medio de acelerómetros, registra los datos de la señal (Figura 5.21) y los envía a una estación base, a la que se puede contactar remotamente desde el monitor aviar a través de Internet o por teléfono. Los indicadores de colisión con aves se han utilizado con éxito en varios proyectos (Harness et al., 2003; Pandey et al., 2007), habiendo demostrado su eficacia para detectar las colisiones y superando a los observadores humanos durante la noche (Murphey et al., 2009). También se han utilizado para probar la eficacia de ciertos tipos de balizas (Luzenski et al., 2016).

El Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI, por sus siglas en inglés -*Electric Power Research Institute*-; EE. UU.) está desarrollando un monitor de actividad animal que utiliza cámaras térmicas de visión inteligente (Figura 5.22) para monitorear e informar colisiones (Figura 5.23) (EDM International, Inc., datos no publicados). Estas cámaras utilizan un algoritmo para separar la actividad de las aves de otras fuentes de movimiento de fondo, como las nubes y el cimbreo de cables debido al viento. Estos dispositivos pueden colocarse en líneas eléctricas y ayudar en el monitoreo directo de la mortalidad por colisiones.

En Europa también se han utilizado sistemas de video-detección para el monitoreo de colisiones (Kucher et al., 2020) y radares específicos para la detección de avifauna para comprobar la efectividad de los sistemas de señalización (Pavón-Jordán, 2020). Los sistemas de detección e identificación de aves en vuelo utilizados para la prevención

de colisiones en parques eólicos, basados en radares y en la captación de imágenes con apoyo de inteligencia artificial (Ballester et al., 2024), tienen un gran potencial para utilizarse también en el monitoreo de la efectividad de los sistemas de marcaje y las colisiones en tendidos eléctricos (McGowan, 2024), si bien hasta ahora no ha habido ninguna experiencia en este sentido.

Aparte de estos sistemas, la ciencia ciudadana y las nuevas tecnologías (incluidas las aplicaciones para celulares y las plataformas web) pueden ser herramientas muy importantes para monitorear los impactos de las líneas eléctricas y recopilar información sobre las muertes (ver secciones 7.1 y 7.5).



Figura 5.22. Cámaras de visión inteligente instaladas en una torre de transmisión para monitorear colisiones. © James F. Dwyer y Richard E. Harness



Figura 5.23. Sistema de cámaras que captura imágenes de video de numerosos passeriformes cruzando la línea de transmisión. © EDM Internacional, Inc.

Aparte de estos sistemas, la ciencia ciudadana y las nuevas tecnologías pueden ser herramientas muy importantes para monitorear los impactos de las líneas

6

Diagnóstico y evaluación de lesiones o muertes de fauna debidas a las líneas eléctricas

Irene Zorrilla¹, Íñigo Fajardo² y Justo Martín Martín³

¹ Centro de Análisis y Diagnóstico de la Fauna Silvestre de Andalucía (CAD), Agencia de Medio Ambiente y Agua, Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente, Junta de Andalucía, España

² Servicio de Geodiversidad y Biodiversidad, Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente, Junta de Andalucía, España

³ JMM Consultant (consultor independiente)



Figura 6.1. La mayor parte de las veces la electrocución produce la muerte del animal, bien directamente, bien por el golpe contra el suelo. Piquero peruano (*Sula variegata*) electrocutado; se observa plumaje chamuscado en el vientre. Humedal de Lengua, Chile. Por Francisco Santander vía iNaturalist Chile. CC BY-NC

6.1. Señales de electrocución en los cuerpos de los animales

La electrocución normalmente provoca la muerte instantánea del animal por parada cardiorrespiratoria, al afectar la electricidad a órganos internos (Figura 6.1). Sin embargo, en ocasiones, la descarga eléctrica en sí misma no es mortal y es el impacto contra el suelo lo que mata al animal, hallándose el cadáver en la base del poste. Hematomas en la cabeza y/o fracturas de cúbito pueden producirse como consecuencia de esa caída.

Con cierta frecuencia, el animal no muere y queda vivo en el suelo, pero normalmente con graves heridas que terminan causándole la muerte o siendo depredado por un carnívoro oportunista que lo encuentra. Si es rescatado y tratado de forma rápida y

Con cierta frecuencia, el animal no muere y queda vivo en el suelo, pero normalmente con graves heridas que terminan causándole la muerte o siendo depredado por un carnívoro oportunista que lo encuentra

adecuada por especialistas⁶, puede sobrevivir, aunque es raro que se recupere por completo y pueda ser reintroducido en la naturaleza; las lesiones internas suelen ser graves, incluso cuando los signos externos son leves.

El paso de la corriente por el cuerpo produce ciertas señales que indican la causa de la muerte o el tipo de accidente (Tabla 6-1). Estos signos pueden ser muy evidentes en el exterior del cuerpo (en el 80% de los casos) o casi indetectables a menos que se realice una necropsia del cadáver (en el 15% de los casos) (Figuras 6.2, 6.3 y 6.4). En el 5% restante de los casos, el cuerpo queda muy quemado o totalmente carbonizado, consecuencia de un arco eléctrico muy intenso o bien por haber quedado el cuerpo enganchado en cortocircuito entre puntos en tensión tras la propia electrocución (obs. pers).

En las aves, el paso de la corriente eléctrica produce un fuerte espasmo muscular que contrae fuertemente las garras (es muy raro que queden exageradamente abiertas); por este motivo, con frecuencia, los cuerpos sin vida de las aves electrocutadas quedan colgados del poste o, si tienen una presa entre las garras, la siguen agarrando tras la muerte (Figuras 6.2 y 6.3).

En los mamíferos, la descarga eléctrica también puede producir la muerte con signos externos evidentes, aunque en ocasiones lo que sufren es la pérdida del conocimiento, cayendo al suelo y muriendo por el traumatismo, especialmente en casos de electrocución de bajo voltaje (Di Maio y Dana, 2013).

La evaluación de las lesiones y signos en el cuerpo del animal es fundamental para determinar la causa de la muerte frente a otras posibles circunstancias.

⁶ Si se encuentra un animal herido, se deberá notificar inmediatamente a la autoridad competente para que se haga cargo.



Figura 6.2. Señales en cuerpos de animales muertos por electrocución. A y B: cadáver de aguilucho común (*Geranoaetus polyosoma*) al pie de un poste, sin signos aparentes a primera vista (A) pero con las garras contraídas y congestionadas (B), signo claro de electrocución (Colina, Chile). Por Oscar Chacón vía iNaturalist Chile. CC BY-NC. C: cadáver de garza cuca (*Ardea cocoi*) con claras señales de electrocución (Lampa, Chile). Por Lucas Quivira vía iNaturalist Chile. CC BY-NC. D: buitre leonado (*Gyps fulvus*) completamente carbonizado (Andalucía, España). © CAD-CSMA. E: perezoso de dos dedos de Hoffmann (*Choloepus hoffmanni*) con heridas provocadas por electrocución (Ecuador). © Fundación Proyecto Sacha

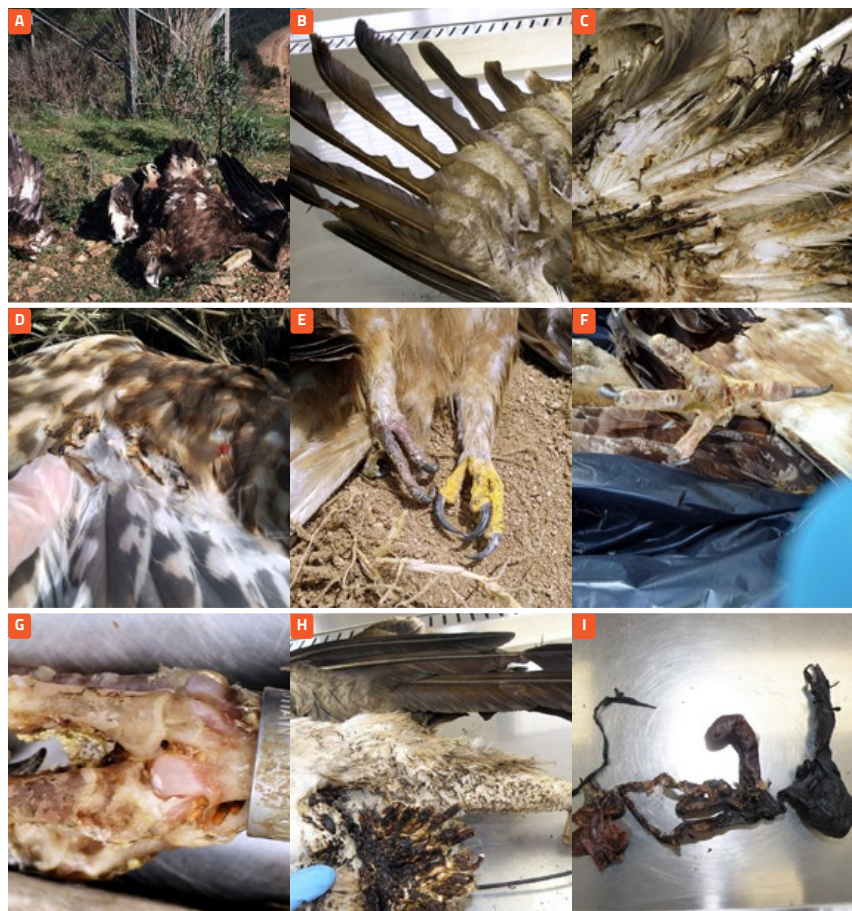


Figura 6.3. Señas en el cuerpo de animales muertos por electrocución (continuación). A: águila real (*Aquila chrysaetos*) con un ala amputada. © Íñigo Fajardo. B y C: águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*) con borde irregular en sus plumas primarias (B) y extremos y bordes de plumas quemados y ennegrecidos (C). © CAD-CSMA. D y E: águila calzada (*Hieraetus pennatus*) con marca de descarga eléctrica en el ala, rotura de piel (D) y pata derecha con pérdida de coloración y contracción muscular (E). © Justo Martín. F: pata de águila perdicera (*Aquila fasciata*) con la piel desgarrada por la descarga eléctrica. © CAD-CSMA. G: pata de águila imperial ibérica con signos de electroporación. © CAD-CSMA. H, I: águila imperial ibérica muerta por electrocución mediada por defecación, bordes de la cloaca ennegrecidos y quemados (H) y tubo digestivo ennegrecido por la descarga eléctrica (I). © CAD-CSMA. Todas las fotos hechas en Andalucía, España.



Figura 6.4. Señas en el cuerpo de animales muertos por electrocución (continuación). A y B: huesos con marcas de quemaduras en restos muy degradados de un cadáver de alimoche (*Neophron percnopterus*). C: signos de electrocución en las plumas alrededor del ojo de un águila culebrera (*Circaetus gallicus*). D: búho real (*Bubo bubo*) electrocutado con una presa en sus garras. E: hematoma en el cráneo de un milano real (*Milvus milvus*) electrocutado. F y G: líneas de congestión en tejido subcutáneo de una pata. H: plumas rotas con raquis quemado. Todas las fotos hechas en España. © CAD-CSMA todas las fotos, excepto D, GREFA.

Tabla 6-1. Tipos de lesiones y signos de electrocución más comunes en el cuerpo de un animal.

Tipo de lesión	Señales
Contracción muscular	Las extremidades inferiores quedan fuertemente contraídas por el espasmo muscular que produce el paso de la corriente eléctrica (garras de rapaces).
Huesos rotos	Vértebras fracturadas con paraplejía; cráneo fracturado; pelvis fracturada; piernas o alas amputadas.
Quemaduras en el plumaje o pelo	En las aves, los puntos de entrada y/o salida de la corriente muestran plumas ennegrecidas, con márgenes irregulares y quemaduras visibles en punta y bordes. En caso de arco eléctrico, pueden aparecer grandes quemaduras en el plumaje, pero sin lesiones internas en el cuerpo (ver Figura 4.6). En los mamíferos pueden observarse pelos carbonizados en las zonas de contacto con la corriente.
Quemaduras en extremidades (alas, garras, patas, manos...) y otras partes de piel desnuda	Quemaduras consistentes en pequeñas áreas o heridas con tejido reseco en los puntos de entrada y salida de la corriente (alas, patas, cara, base del pico, pecho; patas y manos). También en la cloaca si la causa ha sido electrocución por defecación. Desarrollo de edemas (acumulación de líquido) en el tejido periférico a la quemadura.
Señales de electroporación en extremidades	La electroporación es una desorganización celular generalizada producida por el paso de la corriente eléctrica. Llega a producir pérdida de la consistencia y de la estructura muscular debido a la alta temperatura instantánea que origina el paso de la energía por los tejidos. En las aves es observable en forma de manchas blanquecinas con aspecto viscoso en la piel de las patas.
Quemaduras en los huesos	La corriente puede producir marcas de quemadura en los huesos, visibles en la necropsia o incluso en los restos de animales muertos hace tiempo que pueden encontrarse al pie de un poste.
Hematomas perimortem	Se pueden presentar hematomas en las partes del cuerpo que reciben el impacto al caer, incluso si lo hace ya muerto el animal, ya que la sangre continúa circulando por un corto período de tiempo.
Lesiones internas	Signos de fibrosis en el corazón; congestión en órganos internos (pulmones, hígado, bazo, riñones). En aves, líneas de congestión en el tejido subcutáneo de las patas; en el caso de electrocución por defecación, las necropsias revelan un tracto digestivo arrugado y negruzco.
Estado de los animales que sobreviven	Inicialmente se encuentran en estado de shock. En las aves, normalmente las lesiones de los miembros son irreversibles y terminan necrosando; en muy pocas ocasiones únicamente el plumaje se ve afectado y el ave sobrevive y se puede volver a liberar tras su muda. En mamíferos, la supervivencia depende del grado de las quemaduras y de las posibles lesiones internas que se hayan producido.

Fuente: elaboración propia a partir de Haas et al., 2003; Fajardo López-Cuervo y Zorrilla Delgado, 2016; Kagan, 2016; Schulze et al., 2016

6.2. Señales de colisión en los cuerpos de las aves

La colisión con los cables de las líneas eléctricas produce **diferentes tipos de lesiones traumáticas en el cuerpo del ave que colisiona durante su vuelo, provocando incluso su muerte instantánea** como consecuencia directa del choque o del consiguiente golpe contra el suelo. Sin embargo, en numerosas ocasiones el ave no muere inmediatamente después de la colisión y queda viva en el suelo, aunque imposibilitada para volar (Figura 6.5). Si las lesiones le permiten caminar, puede alejarse hasta más de 2 km del punto de colisión. No obstante, su supervivencia es prácticamente imposible, pues aparte de la gravedad de las lesiones, los animales heridos suelen ser presa de carroñeros y depredadores oportunistas como perros, zorros, chacales, jabalíes, diversas rapaces y otros (Ferrer, 2012). Esto debe tenerse en cuenta a la hora de estimar las tasas de mortalidad, como se indica en la sección 7.6.



Figura 6.5. Señales en el cuerpo de aves involucradas en colisiones. A: a menudo, la colisión no mata al ave, pero resulta gravemente herida y expuesta a los depredadores; garza o garcilla bueyera (*Bubulcus ibis*) herida a consecuencia de una colisión. © Daniel Burón. B y C: fractura abierta de ala en águila calzada (B) y garza real (*Ardea cinerea*) (C) muertas por colisión. © Justo Martín. D: daños en el plumaje debidos a una colisión, donde se observa una banda lineal de alteración a la misma altura de cada pluma. © CAD-CSMA. Todas las fotos hechas en Andalucía, España.

Incluso si el ave herida es rescatada y tratada, las lesiones por colisión generalmente son graves y a menudo termina muriendo o con muy pocas posibilidades de rehabilitarse y ser liberada de nuevo en la naturaleza. Las lesiones más comunes se corresponden con ciertos signos característicos observables en el animal (Tabla 6-2).

Tabla 6-2. Tipos de lesiones y signos de colisión más comunes en el cuerpo de un ave.

Tipo de lesión	Señales
Huesos rotos	Huesos rotos en las extremidades (alas y patas) y la columna; fractura de vértebras y cráneo; amputación de extremidades.
Plumaje dañado	Daños de tipo mecánico (plumas arrancadas, rotas o partidas); pueden aparecer quemaduras si, a la vez que la colisión, se produce electrocución, aunque esto ocurre raras veces.
Lesiones en la piel	Desgarros, trozos de piel arrancada; músculos, tendones o huesos expuestos; sin tratamiento inmediato, estas lesiones desarrollan rápidamente infecciones y necrosis.
Lesiones secundarias en las extremidades	Edemas y necrosis localizada alrededor de heridas, huesos, tendones y músculos expuestos; signos de infección bacteriana.
Hemorragias internas en la zona del impacto	Grandes hematomas en los músculos de las alas y pectorales.
Estado de las aves supervivientes	Inicialmente en estado de shock. Incapaz de volar o incluso moverse, dependiendo de las heridas y lesiones secundarias.

Fuente: elaboración propia a partir de Haas et al., 2003; Fajardo López-Cuervo y Zorrilla Delgado, 2016

6.3. Diagnóstico de la causa de la muerte

Aunque la mayoría de los cadáveres encontrados debajo de un poste o cerca de un tramo de línea eléctrica son el resultado de electrocuciones o colisiones, la muerte puede responder a otras causas.

Un animal enfermo, herido, envenenado o intoxicado puede decidir posarse en un poste y morir allí, cayendo y quedando al pie del poste como si la causa de la muerte fuera una electrocución; sería fácil rechazar esta causa si el cuerpo no mostrara los signos típicos y encontrásemos otros que apuntaran a un motivo diferente (ver Tabla 6-1). Sin embargo, podría ocurrir que el cuerpo del animal, ya sin vida, sufriese una descarga al caer y



Figura 6.6. A veces resulta difícil diagnosticar la causa de la muerte *in situ*. Buitre leonado encontrado muerto en un poste; aunque en un principio se podría pensar en una muerte por electrocución, su posición indica que el ave murió cayendo hacia adelante, desde una posición en la que no habría habido posibilidad de contacto con el conductor y, por lo tanto, la electrocución no sería posible. La necropsia del ejemplar verificó la muerte por veneno. Andalucía, España. © Íñigo Fajardo

chocar con elementos de un poste (por ejemplo, en uno provisto de transformador, donde hay una gran cantidad de cables conductores), en cuyo caso lo identificaríamos, a primera vista, como electrocución. La causa verdadera de la muerte sólo podría resolverse mediante análisis de laboratorio. Normalmente, esto no es necesario y el personal experimentado puede determinar la causa de la muerte sin necesidad de acudir a una necropsia. Otra cuestión es la **necesidad de una necropsia realizada por expertos si existe la posibilidad de emprender acciones legales** (Figura 6.6).

También en las colisiones puede darse algo similar, ya que individuos igualmente heridos, enfermos, intoxicados o envenenados, con sus facultades físicas mermadas, tendrían mayores dificultades para maniobrar y evitar un choque, de forma que casi habría que considerar éste como una causa secundaria de la muerte.

Se conocen casos de cazadores furtivos o envenenadores que arrojaron cadáveres debajo de torres de alta tensión o líneas eléctricas con el fin de desviar las sospechas de sus actividades ilícitas, comportamiento registrado en diferentes partes del mundo (Fajardo López-Cuervo y Zorrilla Delgado, 2016). También se pueden dar casos de

ejemplares muertos a los pies de líneas eléctricas por los disparos de cazadores a las aves posadas en ellas; en un estudio realizado en Estados Unidos, esta causa representó el 66% de las analizadas (Thomason et al., 2023).

Para conseguir un diagnóstico de la muerte acertado, además de los signos de colisión y electrocución expuestos más arriba, **otros elementos de juicio nos pueden permitir discernir si la causa de la muerte ha sido un incidente con la línea eléctrica o de otro tipo** (veneno, disparo); incluso si el animal murió en el aire, sobre el poste o en el suelo, o si el cadáver fue manipulado después de la muerte, en su caso.

Estos elementos de juicio son básicamente dos, el cuadro postural (posición general en la que encontramos el cadáver) y los signos externos acompañantes. En el caso de la electrocución, las características del poste también nos proporcionan información relevante sobre la posibilidad de que esa haya sido la causa de la muerte (Fajardo López-Cuervo y Zorrilla Delgado, 2016).

Cuadro postural y signos acompañantes. Cuando un ave muere de forma súbita en el aire, por ejemplo, debido a una colisión con un cable o a un disparo, el cuerpo sin vida adopta en su caída una postura de “gota de agua”, determinada por la propia anatomía (en las aves la masa corporal se concentra en la parte superior delantera, en los músculos de vuelo), las alas y la atracción de la gravedad. Al llegar al suelo, contacta con el dorso, el cadáver queda boca arriba, en una postura aparentemente relajada (Figura 6.7). Lo mismo ocurre con las aves electrocutadas cuando caen desde una altura suficiente, si bien a pesar de quedar boca arriba, pueden apreciarse signos diferenciadores de la causa de la muerte, como las garras contraídas.

Figura 6.7. La posición natural de un pájaro que muere en el aire y cae al suelo desde cierta altura es adoptar una forma de ‘gota’ durante la caída, y aterrizar sobre su espalda, quedando el cuerpo con una apariencia “relajada”. Izquierda: cadáver de águila calzada cayendo en el aire, adoptando forma de ‘gota’; derecha: individuo de la misma especie muerto por electrocución (España). © Íñigo Fajardo (izq.) y Justo Martín (dcha.)



Las aves que mueren en el suelo a partir de una postura normal erguida, ya sea por enfermedad, envenenamiento o a consecuencia de las heridas producidas por una colisión, electrocución o disparo previos, presentan un cuadro postural muy diferente. Al sobrevenir la muerte, el ave cae sobre sí misma debido a esa posición desplazada hacia adelante de su centro de gravedad, de forma que el cadáver queda posicionado boca abajo.

En la muerte por envenenamiento, antes de morir el animal sufre fuertes contracciones y convulsiones involuntarias, fruto de la acción neurotóxica, que quedan reflejadas en el cadáver. Así, en el caso de las aves, las alas quedan abiertas o entreabiertas (típico de buitres y grandes águilas), la cola levantada y erguida y las garras completamente contraídas (con aspecto similar a la electrocución), incluso clavadas en la misma pata (esto último no ocurre en algunas especies como el buitre leonado (*Gyps fulvus*), posiblemente también en otras especies próximas, por sus propias peculiaridades anatómicas). En el caso de especies de cuello largo, como buitres o cigüeñas, este aparece retorcido. En las rapaces medianas es típico un cuadro postural “en abanico”, con las alas y la cola totalmente desplegadas.

Este cuadro postural de la muerte por veneno es fácilmente diferenciable de otras muertes producidas en el suelo que también dejen el cadáver boca abajo, como por ejemplo por heridas producidas por un disparo o una colisión o electrocución no mortales inmediatamente. En esos casos no se apreciarán los signos de contracciones típicos del envenenamiento, con un cuadro postural mucho más relajado, alas y cola poco o nada desplegadas y garras cerradas, pero no contraídas. Los signos externos nos ayudarán a determinar la causa. Si un animal muere en el suelo por otra causa que no sea un envenenamiento, por ejemplo, debido a una herida por arma de fuego, también tendrá la cabeza hacia abajo, pero en una posición diferente, sin signos de las contracciones o convulsiones descritas anteriormente. En todos los casos, hay que tener en cuenta que un cadáver puede haber sido movido de su posición original por fuertes vientos, especialmente en el caso de especies de alas largas (por ejemplo, cigüeñas), por carroñeros o por la topografía del terreno.

En los mamíferos, las señales de envenenamiento también pueden ser claras, como las extensiones de las extremidades, el pelo erizado o el *risus sardonicus*, expresión facial caracterizada por cejas levantadas y distorsión de la cara “sonriente” resultante del espasmo de los músculos faciales, entre otras (Figura 6.8).



Figura 6.8. Signos de muerte por envenenamiento. A: buitre leonado con las alas abiertas y contraídas. B: buitre leonado tumbado boca abajo en el suelo con la cola levantada. C: garra contraída de un milano real envenenado. D: cloaca de quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) con restos de heces (producido por relajación de esfínteres). E y F: milano negro y cernícalo común (*Falco tinnunculus*) envenenados, en posición de 'abanico'. G: zorro común (*Vulpes vulpes*) envenenado, con las marcas en el suelo producidas por las convulsiones del animal antes de morir. H: perro envenenado, mostrando mueca de *risus sardonius*. Todas las fotos hechas en Andalucía, España. © Justo Martín (A y B) e Íñigo Fajardo (resto)

Otros signos. El envenenamiento deja signos como vómitos (al lado del animal o cerca), buche lleno o heces sueltas o con sangre, que dejan manchas visibles alrededor de la cloaca o el ano. Los disparos también dejan señales claras. Aunque las heridas pueden no ser demasiado visibles, el impacto de los perdigones origina plumas con el cañón roto, cortadas y agujereadas si el disparo ha sido cercano, o inconfundibles marcas redondeadas si ha sido algo más lejano y el tiro ha sido perpendicular al ala; si ha sido más o menos paralelo, el resultado son trazas alargadas en el plumaje. Las plumas con estas marcas son fáciles de identificar en el cuerpo del ave y sus alrededores. Hay que tener también presente que un ave puede haber recibido un disparo en el pasado sin mayores consecuencias que unas marcas en el plumaje y, por tanto, no tener nada que ver con la causa de la muerte (Figura 6.9).



Figura 6.9: Señales en el cuerpo de aves causadas por disparos (excepto F). A-E: marcas en las plumas producidas por perdigones. F: bandas de estrés en "V", marcas características causadas por una deficiencia nutricional, fácilmente diferenciables de las causadas por disparo. G: herida producida por el disparo de un perdigón. Todas las fotos hechas en Andalucía, España. © CAD-CSMA

Estas marcas en las plumas no deben confundirse con las producidas por colisiones o electrocuciones, o con las bandas de estrés provocadas por deficiencias de nutrientes durante el desarrollo de las plumas. Las colisiones producen roturas lineales situadas a la misma altura en varias plumas; la electrocución también puede romper las plumas, pero en ese caso aparecen divididas en grupos y suelen mostrar el raquis quemado y los bordes deshilachados, o al menos se observan cambios de coloración debido al calor. Por su parte, las bandas de estrés en forma de "V" son marcas generalmente más pálidas o translúcidas que el resto del raquis y aparecen en un patrón transversal, a modo de franja delgada que cruza la pluma (Figura 6.9 F).

6.4. Laboratorios de referencia

A la hora de establecer las causas de la muerte y como apoyo general y fundamental a la investigación de los delitos contra la fauna, es muy importante contar con un laboratorio de referencia especializado. La labor de un laboratorio de estas características es esencial; sus resultados permiten ejecutar sentencias contra delincuentes ambientales que, consciente o inconscientemente, son los responsables no solo de acabar con la vida de fauna protegida, sino incluso de poner en peligro la vida de las personas que viven en entornos naturales o visitan áreas protegidas.

Estos centros también constituyen un apoyo fundamental en los proyectos dirigidos a la recuperación, conservación y gestión de fauna, incluyendo especies protegidas y amenazadas, a las reintroducciones, cría en cautividad, control del envenenamiento ilegal, o para la gestión de actividades cinegéticas, etc. Los resultados que generan son una herramienta indispensable en la gestión de estos temas y, por tanto, contribuyen a garantizar la supervivencia de las especies amenazadas y de la fauna silvestre en general.

Uno de los mejores ejemplos en el mundo de este tipo de laboratorios es el **Centro Andaluz de Análisis y Diagnóstico de Fauna Silvestre (CAD)**, laboratorio de referencia perteneciente al Gobierno regional (Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente (CSMA) de la Junta de Andalucía). Fue creado en 2001 en la ciudad de Málaga, en el sur de España, como respuesta a la necesidad de resolver incidencias que afectan directa e indirectamente a la fauna silvestre.

El principal objetivo del laboratorio del CAD es aplicar el análisis forense para afrontar emergencias e incidentes. Lo logra determinando causas de muerte, diagnosticando enfermedades y evaluando la salud de la fauna silvestre, utilizando medios como necropsias, análisis de genética, toxicología, anatomía patológica, entomología forense, microbiología, parasitología, bioquímica, serología y hematología. Este trabajo se realiza en las instalaciones del CAD por un equipo multidisciplinar formado por veterinarios, biólogos y analistas. Los análisis que se realizan cumplen con los estándares de calidad necesarios para el cumplimiento de la legislación vigente en materia de conservación de la naturaleza (Figura 6.10).



Figura 6.10. A: laboratorio de microbiología; B: procesamiento de ADN; C: estudio forense; D: análisis de un polluelo de perdiz con veneno en su interior. © CAD-CSMA

El trabajo del laboratorio es muy diverso:

- Evaluación de la salud y patologías en poblaciones de especies protegidas o amenazadas y fauna cinegética, tanto provenientes de libertad como de centros de recuperación y estaciones de referencia de especies cinegéticas;
- Estudio de la causa de muerte en necropsias de especies silvestres en libertad y en cautividad; realización de estudios forenses especializados sobre restos óseos, estudios genéticos para relacionar muestras envenenadas con otros elementos incautados, estudios balísticos y determinación de la fecha de muerte mediante entomología forense;
- Análisis de muestras tomadas durante episodios de mortalidad de aves acuáticas y peces en humedales de Andalucía;
- Diagnóstico de casos de envenenamiento en el marco del Programa de acción para la lucha contra el veneno en Andalucía, que persigue la erradicación del uso ilegal de cebos envenenados;
- Monitoreo genético mediante el estudio, evaluación y control de aspectos relacionados con la pureza y variabilidad genética de especies cinegéticas y otras especies de interés, y sexado molecular de pollos de aves recién nacidos a partir de muestras (sangre, plumas, restos de huevos eclosionados, etc.);
- Vigilancia de la transmisión de enfermedades animales, con especial atención a las enfermedades comunes a los animales silvestres, al ganado doméstico y a los seres humanos (zoonosis), y respuesta a emergencias sanitarias.

La idea de la capacidad y cantidad de trabajo que realiza el CAD lo ponen de manifiesto sus cifras: entre 2001 y 2024, el CAD realizó 537 228 pruebas a partir de 212 126 muestras.

7

Monitoreo de líneas: toma de datos y análisis de la información

**Justo Martín Martín¹, José Rafael Garrido López²
y Helena Clavero Sousa³**

¹ *JMM Consultant (consultor independiente)*

² *Agencia de Medio Ambiente y Agua, Consejería de Sostenibilidad
y Medio Ambiente, Junta de Andalucía, España*

³ *Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza –
Centro de Cooperación del Mediterráneo (UICN Med)*



Figura 7.1. Antes del trabajo de campo y análisis de los datos, es esencial determinar las áreas donde se va a centrar el monitoreo y caracterización de líneas, y las posteriores correcciones. Línea eléctrica de transmisión en Brasil. © Mozart da Silva Lauxen/IBAMA

El punto de partida para adoptar medidas dirigidas a prevenir o reducir la mortalidad de fauna en líneas eléctricas, existentes o planificadas, es disponer de datos que indiquen dónde y cómo actuar, o qué zonas deben evitarse para el desarrollo de infraestructura. La eficacia de las medidas a adoptar y su relación costo/beneficio están directamente relacionadas con la calidad de los datos recopilados en los estudios de campo, incluidos el inventario y el monitoreo de las poblaciones de fauna silvestre existentes. En este capítulo se describen los principales aspectos a tener en cuenta a la hora de monitorear e identificar zonas con líneas eléctricas peligrosas para las aves, pero estos aspectos son extrapolables a otros grupos faunísticos. Además, el contenido que se refiere a la recopilación de información (sobre todo de base, sección 7.1) es aplicable también al capítulo 8, ya que esa información puede también servir para preparar planes de acción y estrategias para mitigación de impactos de las líneas y para las evaluaciones ambientales estratégicas (EAE) y evaluaciones de impacto ambiental (EIA), planificación estratégica de los desarrollos eléctricos, etc.

7.1. Información de base y fuentes de información

Dado que las líneas eléctricas se extienden por gran parte de la superficie terrestre de cualquier región o país, es fundamental hacer un trabajo previo de priorización de las áreas donde se deben concentrar esfuerzos en la búsqueda de puntos de mortalidad y la implementación de medidas correctoras y mitigadoras. Básicamente, esto requiere **información precisa sobre la distribución y movimiento de las especies y sobre la ubicación y características de las líneas eléctricas** existentes en un área geográfica determinada (área del proyecto, región, país, etc.). Algunas de estas fuentes de información y herramientas pueden, como se ha mencionado, servir para los estudios de impacto ambiental de proyectos y para la planificación estratégica.

En lo que se refiere a las **líneas existentes**, para el caso de Latinoamérica, una fuente importante de información es la Organización Latinoamericana y Caribeña de Energía (OLACDE). La OLACDE (<http://www.olade.org>) es un organismo de cooperación, coordinación y asesoría técnica, de carácter público intergubernamental, ratificado por 27 países de América Latina y El Caribe, con el objetivo fundamental de fomentar la integración, conservación, aprovechamiento racional, comercialización y defensa de los recursos energéticos de la región. Ofrece información variada y actualizada de sus países miembros a través del Sistema de Información Energética de Latinoamérica y el Caribe (sieLAC). En colaboración con el Consenso de Brasilia (mecanismo intergubernamental creado para fortalecer los lazos entre los países que componen América del Sur) y la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (UPME), ofrece un visor geográfico (<https://tinyurl.ee/RGhpE>) de la infraestructura eléctrica de la región (Figura 7.2).

La organización no gubernamental Geocomunes produce y difunde información sobre diferentes temas socioeconómicos de la región. Parte de esa información es cartográfica y se puede descargar o consultar en sus geo-visualizadores, contiene información sobre el sistema eléctrico de México (<https://geocomunes.org/Visualizadores/SistemaElectricoMexico>) y de los países centroamericanos (<https://geocomunes.org/Visualizadores/Centroamerica/>).

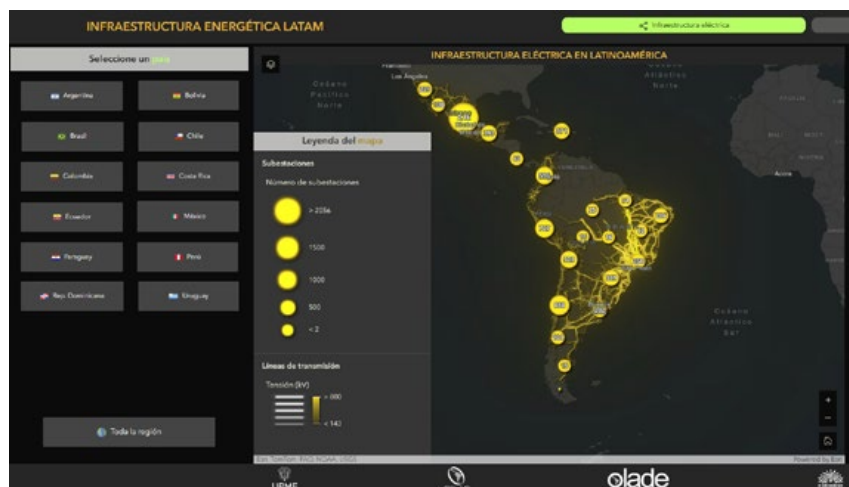


Figura 7.2. La Organización Latinoamericana de Energía (OLACDE), en colaboración con el Consenso de Brasilia y la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia, ofrece un visor geográfico de la infraestructura eléctrica de la región. Vista del visor de la OLACDE. © OLACDE

Aparte de estas fuentes regionales, algunos países cuentan con información digitalizada sobre sus infraestructuras eléctricas (Figura 7.3):

- Perú, con su Mapa Energético Minero <https://gisem.osinergmin.gob.pe/>
- Colombia, en el portal <https://sig.upme.gov.co/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=76068f01ad1d40cdbf2e7d7cf84de86b>
- Argentina, en la sección de información energética del Ministerio de Economía <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/planeamiento-energetico/informacion-energetica/sistema-unificado-de-informacion-3>
- México, a través del geoportal Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía (SENER) <https://sie.energia.gob.mx/>
- Brasil, con el Sistema de Informações Geográficas do Setor Energético <https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/>
- Chile, con el Sistema de Información Geográfica Energética Nacional (SIGEN) <https://sig.minenergia.cl/>

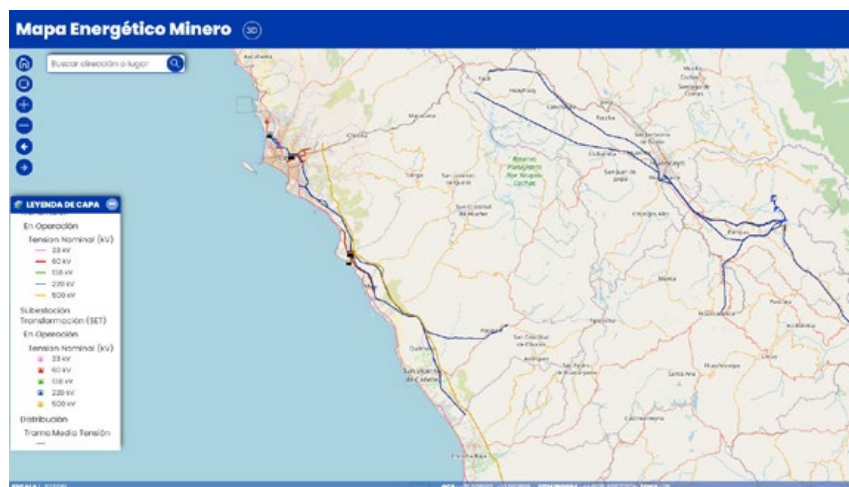


Figura 7.3. Además de las fuentes de información regionales, para algunos países también existe información cartográfica digitalizada de sus líneas eléctricas. Imagen del mapa energético-minero de Perú, con la infraestructura eléctrica. © Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería de Perú

En la mayoría de los casos, la información cartográfica se refiere solo a las grandes líneas de transmisión, siendo más escasa la información sobre las líneas de distribución. En el caso de no estar disponible la información específica, como punto de partida para estudios a nivel local se pueden utilizar aplicaciones cartográficas genéricas como Google Maps, Google Earth, Bing Maps o Apple Maps; en muchas ocasiones el detalle de las fotografías permite visualizar el trazado y los postes de las líneas eléctricas.

En cuanto a **la información ambiental y de biodiversidad**, existen varias plataformas, webs y bases de datos que pueden proporcionar información sobre la presencia de determinadas especies y puntos de interés dentro o fuera de áreas naturales protegidas, en las zonas con líneas existentes o donde desarrollar nuevos proyectos.

Una de ellas es el Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF, por sus siglas en inglés, *Global Biodiversity Information Facility*; <https://www.gbif.org>), “una red internacional e infraestructura de datos financiada por los gobiernos del mundo para dar acceso abierto a datos sobre todas las formas de vida en la Tierra”, con información temporal y espacial sobre registros de especies.

Otra fuente de información de gran relevancia es la Herramienta Integrada de Evaluación de la Biodiversidad (IBAT, por sus siglas en inglés, *Integrated Biodiversity Assessment Tool*; <https://www.ibat-alliance.org/>), desarrollada y promovida por una alianza de organizaciones conservacionistas globales, incluida UICN. Se trata de una plataforma en línea que proporciona datos geoespaciales globales para evaluar los riesgos y oportunidades de la biodiversidad en sitios específicos. Esta herramienta integra información de tres conjuntos de datos clave sobre biodiversidad global, desarrollados o gestionados por la UICN junto con otras organizaciones: la Lista Roja de Especies Amenazadas™ de la UICN (<https://www.iucnredlist.org/es>), la Base de Datos Mundial sobre Áreas Protegidas *Protected Planet*® (WDPA, por sus siglas en inglés, *World Database on Protected Areas*, <https://www.protectedplanet.net/en/thematic-areas/wdpa?tab=WDPA>) y la Base de Datos Mundial de Áreas Clave para la Biodiversidad (WDKBA por sus siglas en inglés, *World Database of Key Biodiversity Areas*, <https://www.keybiodiversityareas.org/>). Con IBAT se pueden generar informes y visualizar datos, permitiendo a los usuarios, como empresas o instituciones financieras, comprender los potenciales impactos de sus proyectos sobre el medio y la biodiversidad y apoyar la toma de decisiones sustentables.

Sea a través del uso de IBAT o no, esas tres bases de datos que la integran deberían tenerse en cuenta en cualquier proyecto o proceso de desarrollo de líneas o de priorización de acciones de mitigación de impactos. Ello ayudará a identificar y mapear lugares cruciales para la conservación de la biodiversidad, lo que permite a las empresas y gobiernos priorizar la planificación espacial, evitar o reducir impactos negativos y enfocar los esfuerzos de conservación en áreas clave, guiando así decisiones para minimizar la pérdida de biodiversidad y proteger ecosistemas y especies vulnerables. Es innegable la necesidad de considerar las áreas protegidas y las especies presentes, en especial las amenazadas, en las EIA, EAE, la planificación estratégica de nuevas infraestructuras, pero también en la priorización de acciones de mitigación o los mapas de riesgo y sensibilidad; y a ello ayudan las mencionadas WDPA y la Lista Roja de Especies™ de la UICN. Por su parte, las KBA son áreas designadas porque sustentan un número significativo o una extensión importante de especies o de ecosistemas únicos, que contribuyen significativamente a la persistencia global de la biodiversidad (UICN, 2016). Como tales, no pueden reemplazarse fácilmente y su conservación debe ser prioritaria también. La Base de Datos de KBA está bastante desarrollada para Latinoamérica (Figura 7.4).

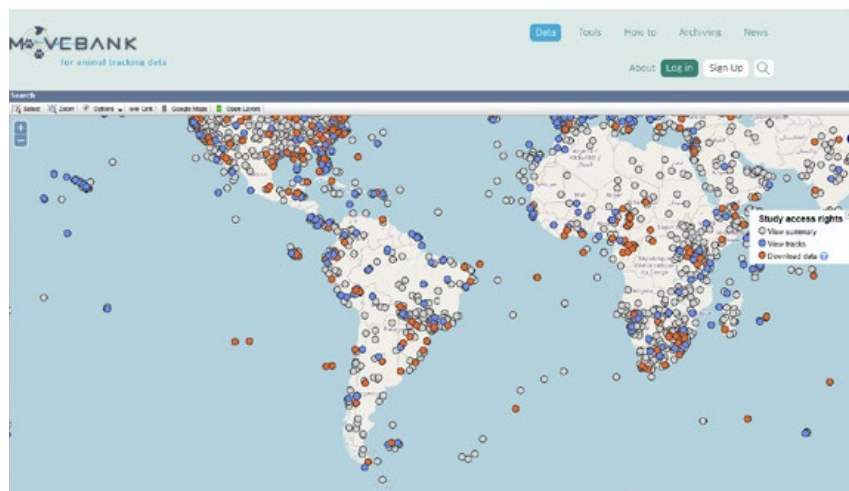


Figura 7.4. Las Áreas Clave para la Biodiversidad (KBAs) son sitios que contribuyen significativamente a la persistencia global de la biodiversidad, designados porque sustentan un número significativo o una extensión importante de especies o de ecosistemas únicos. En la imagen, el mapa-visor de la región con las KBA en verde (<https://www.keybiodiversityareas.org/map>). © Key Biodiversity Areas

También de utilidad para la planificación estratégica de proyectos energéticos o para los estudios y seguimiento de impactos puede ser otra herramienta de la UICN, la Lista Roja de Ecosistemas (LRE; <https://iucnrl.org/es>), que permite conocer y monitorear el estado de conservación de ecosistemas de todo el mundo, con cartografía incluida en su base de datos (<https://assessments.iucnrl.org/search>) de los ecosistemas ya evaluados, indicando las categorías de amenaza de cada uno, establecidas por la UICN (IUCN-CEM, 2022). La cartografía de los ecosistemas según su nivel de riesgo no está aún desarrollada para todos los países, pero para ciertas áreas de América Latina, sí (Figura 7.5).

La métrica STAR (por sus siglas en inglés *Species Threat Abatement and Restoration* -Reducción de amenazas y restauración de especies-; <https://iucn.org/resources/conservation-tool/species-threat-abatement-and-restoration-star-metric>) es otra herramienta desarrollada por la UICN, una métrica de impacto que mide el potencial de esfuerzos concretos de mitigación de amenazas y restauración en lugares específicos. Con base en los datos de la Lista Roja de Especies Amenazadas™, esta metodología (Mair et al., 2021) genera estimaciones del potencial de reducción del riesgo de extinción de especies que podría lograrse en un sitio (desglosadas en cuadrículas de 5 x 5 km²), en el ámbito de una empresa o dentro de un país. Así, permite identificar

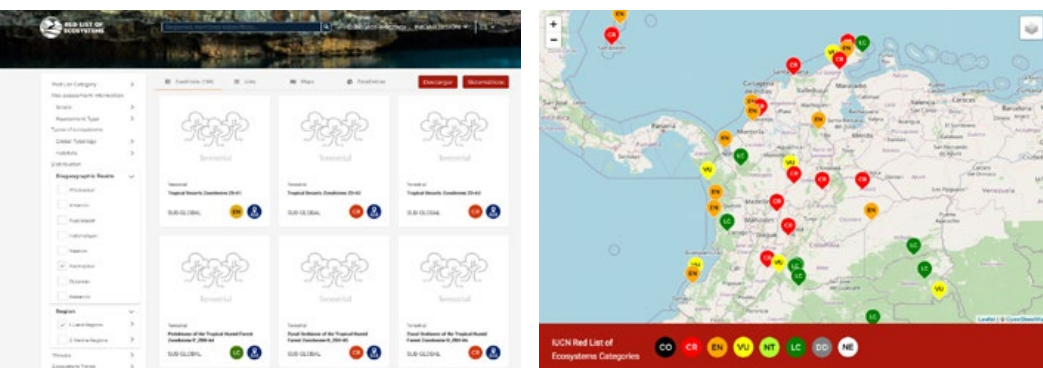


Figura 7.5. La Lista Roja de Ecosistemas posibilita conocer y monitorear el estado de conservación de los ecosistemas, según las categorías de amenaza establecidas por la IUCN, con una base de datos y cartografía, de gran utilidad para la planificación estratégica de proyectos energéticos. En la imagen, vista de un ejemplo de búsqueda en la Base de Datos de LRE (izq.) y detalle del modo de vista "mapa" (dcha.) (<https://assessments.iucnrl.org/>). © IUCN Red List of Ecosystems/2014-2020 IUCN-CEM

acciones que los gestores del territorio, empresas o responsables de proyectos pueden llevar a cabo para reducir ese riesgo en sus áreas de intervención, ya sea disminuyendo el nivel de amenazas o restaurando el hábitat. El método para el cálculo y la información para su aplicación son de dominio público y están disponible a través de la mencionada IBAT⁸.

En esta línea, y basado en alguna de esas herramientas, recientemente se ha lanzado el enfoque *Rapid High-Integrity Nature-positive Outcomes* (RHINO) para ayudar a orientar a las organizaciones en sus intervenciones con el fin de producir resultados positivos para la naturaleza, ofreciendo orientación y ejemplos de casos prácticos (www.iucnrhino.org/).

De potencial aplicación en España, existe también la Herramienta de la Red de Sitios Críticos (CSN, por sus siglas en inglés, *Critical Site Network*; <https://criticalsites.wetlands.org/es>), que brinda acceso a información sobre más de 300 especies de aves acuáticas migratorias, sus rutas migratorias y los humedales clave que estas aves utilizan en la región de África y Eurasia.

⁸ Disponible en la sección: <https://www.ibat-alliance.org/datasets/species-threat-abatement-and-restoration>

Las plataformas de ciencia ciudadana pueden asimismo ser útiles para recopilar y consultar datos sobre biodiversidad. Estas plataformas recopilan continuamente datos de millones de usuarios de todo el mundo que suben sus observaciones de campo a través del sitio web o de una aplicación. Los datos se almacenan en el servidor del desarrollador para su consulta y uso. Actualmente, las plataformas con mayor número de usuarios son eBird (<https://ebird.org>), creada por el Laboratorio de Ornitología de Cornell en EE. UU., Observation (<https://observation.org>; Figura 7.6), desarrollada por *Observation International Foundation*, con sede en los Países Bajos, e iNaturalist (<https://www.inaturalist.org>), una iniciativa conjunta de la Academia de Ciencias de California y la *National Geographic Society*. Los datos de estas y otras plataformas alimentan y se recopilan en el ya mencionado Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF).



Figura 7.6. Página del sitio web ebird.org que muestra información sobre aves de Ecuador. © eBird/Laboratorio de Ornitología de Cornell

Es importante señalar que todas **estas bases de datos y herramientas proveen la mejor información disponible, y puede haber lugares donde la información sobre especies y ecosistemas sea muy escasa o inexistente**, o que no haya sido incorporada a esas bases de datos, por lo que los análisis cartográficos basados en estas bases de datos y plataformas deberán ser validados por trabajo de campo e incorporación de bibliografía específica, si existe, para la zona en concreto.



Figura 7.7. En los proyectos de nuevas líneas eléctricas es importante una buena recopilación de información previa, tanto de las líneas ya existentes como de la presencia de especies sensibles. Línea eléctrica en Yocalla, Bolivia. HighVoltage 5576 vía Wikimedia Commons. CC BY-SA 4.0

Especialmente en los proyectos de nuevas líneas eléctricas se necesita información muy precisa para facilitar los procedimientos de evaluación ambiental, ayudar a seleccionar las mejores opciones para minimizar el impacto sobre la vida silvestre y cumplir con los requisitos técnicos y financieros.

La información previa existente debe complementarse con información recopilada en el área del proyecto o potencialmente afectada. Es esencial realizar una buena cartografía de los hábitats y, en su caso, caracterizar las líneas eléctricas existentes (Figura 7.7). La evaluación de la presencia de especies sensibles debe hacerse también con estudios sobre el terreno durante, al menos, un año completo para cubrir los períodos de reproducción, invernada y pasos migratorios. El monitoreo debe estudiar los eventos de reproducción, el número de ejemplares/territorios presentes, los movimientos diarios y estacionales y las posibles áreas de concentración.

7.2. Especies y zonas prioritarias

Las áreas prioritarias para la biodiversidad se pueden determinar de varias maneras. Un método sencillo consiste en **identificar el número de especies prioritarias presentes y el tamaño de sus poblaciones** (Comisión Europea, 2018). Las especies prioritarias⁹ son aquellas que la Lista Roja de Especies Amenazadas™ de la UICN enumera como amenazadas (en las categorías Vulnerable, En Peligro y En Peligro Crítico) a nivel global, regional o nacional (Figura 7.8).



Figura 7.8. Las especies prioritarias se pueden definir como aquellas consideradas amenazadas (En Peligro Crítico (CR), En Peligro (EN), Vulnerable (VU)) según la Lista Roja de Especies Amenazadas™ de la UICN. En la figura, estas y las otras categorías: Extinto (EX); Extinto en Estado Silvestre (EW); Casi Amenazado (NT); Preocupación Menor (LC). Fuente: Comité de Estándares y Peticiones de la UICN, 2019

Los **programas de inventario y monitoreo que abarcan las zonas de reproducción, de invernada y de dispersión de las especies** son esenciales para determinar las áreas prioritarias en las que centrar los esfuerzos de prevención y corrección. En función de la abundancia y densidad temporal o permanente de las especies prioritarias que se encuentren en ellas, las áreas pueden clasificarse como de **prioridad I, II y III**. Las áreas de importancia internacional para las aves se incluirían como áreas de prioridad I, las áreas de importancia nacional, de prioridad II, y las áreas de importancia regional o local serían de prioridad III. La Tabla 7-1 presenta algunos criterios para clasificar áreas prioritarias.

⁹ Las especies prioritarias también pueden incluir aquellas cuya conservación (en el sentido amplio del término) cumple objetivos que trascienden la conservación de la especie individual, como la conservación de hábitats y otros aspectos importantes de la biodiversidad a diversas escalas geográficas y niveles de integración biológica (March et al., 2009).

Tabla 7-1. Niveles de prioridad y tipos correspondientes de áreas de importancia para especies de aves sensibles a electrocución y colisión.

Nivel de prioridad	Tipo de área de importancia
Áreas de prioridad I, por ejemplo, Áreas importantes para las aves (IBA)	'Sitios críticos de biodiversidad mundiales' (hotspots) para varias especies prioritarias con una alta densidad de individuos o, al menos, para una especie amenazada a nivel mundial: • Áreas clave de reproducción, invernada y dispersión • Sitios clave donde se congregan muchas aves, como escalas en rutas migratorias o puntos de alimentación (por ejemplo, humedales o vertederos de basura) • Rutas migratorias importantes • Zonas de cuello de botella en las rutas migratorias • Rutas de vuelo importantes entre los sitios de reproducción o descanso y las áreas de alimentación
Áreas de prioridad II	Áreas de importancia nacional para una o más especies prioritarias: • Importantes zonas de reproducción, invernada y dispersión • Rutas de vuelo importantes entre los sitios de reproducción o descanso y las áreas de alimentación • Sitios de congregación de importancia nacional
Áreas de prioridad III	Áreas de importancia regional o local para especies prioritarias y no prioritarias: • Rutas migratorias locales • Áreas importantes para la reproducción, invernada o dispersión a nivel local, actuando como 'fuentes' para otras áreas periféricas cercanas • Sitios de congregación de importancia local

Fuente: elaboración propia a partir de Comisión Europea, 2018

Dentro de las áreas prioritarias, los esfuerzos deben centrarse en los puntos o áreas donde se concentran las especies más susceptibles a los impactos de las líneas eléctricas (ver secciones 4.2.2, 4.3 y 5.2.2) y, por tanto, donde su estado de conservación puede ser de mayor preocupación. Lógicamente, las medidas implementadas las beneficiarán a ellas y al resto de especies sensibles presentes (Moleón et al., 2007).

Criterios similares se pueden utilizar en el caso de los mamíferos u otros grupos; los datos de diferentes grupos pueden combinarse para determinar áreas prioritarias conjuntas.

7.3. Mapas de sensibilidad y riesgo

La información de calidad permite la creación de mapas de sensibilidad y de riesgo. Los **mapas de sensibilidad** se basan en establecer una puntuación de sensibilidad determinada para cada especie, que pondera y evalúa las características vinculadas al problema a evaluar. Esta calificación, combinada con los datos de distribución de las especies, posibilita crear mapas de sensibilidad identificando las áreas donde se concentran las especies sensibles y catalogándolas según los valores combinados de sensibilidad (alta, media o baja) que muestran las áreas. Esta metodología se utilizó por primera vez para crear mapas de sensibilidad de aves para parques eólicos, como una herramienta para ayudar en la planificación de nuevas instalaciones teniendo en cuenta la conservación de las aves (Garthe y Hüppop, 2004; Bright et al., 2008; McGuinness et al., 2015).

En el caso de las líneas eléctricas, existen ejemplos en diferentes países de mapas de sensibilidad a la electrocución (Pérez-García, 2014) y a las colisiones (Red Eléctrica Española, 2017; D'Amico et al., 2019; Biasotto et al., 2021). Los valores de sensibilidad se establecen según características como el estado de conservación, la anatomía, el comportamiento, las preferencias y el uso del hábitat de la especie (Figura 7.9).

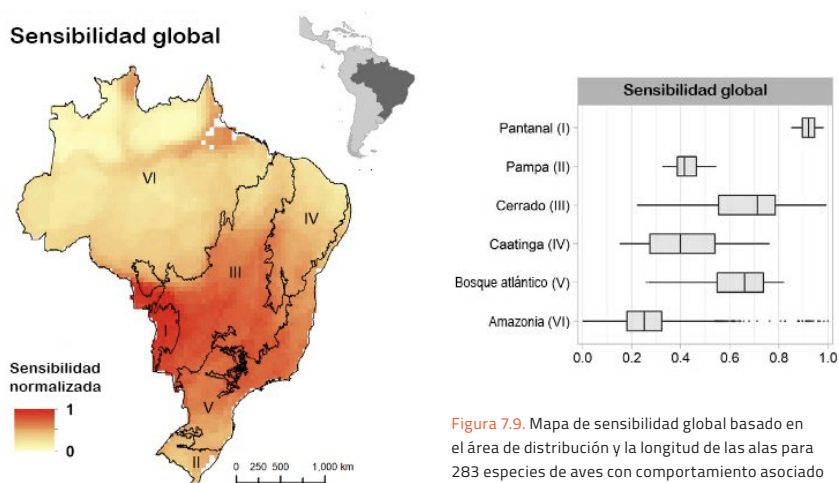


Figura 7.9. Mapa de sensibilidad global basado en el área de distribución y la longitud de las alas para 283 especies de aves con comportamiento asociado a un alto riesgo de electrocución. Fuente: adaptado de Biasotto et al., 2021; traducción propia.

En países donde la mortalidad causada por líneas eléctricas está poco documentada, esta metodología se puede utilizar para generar información a gran escala. Los mapas resultantes posibilitan una evaluación preliminar destinada a identificar áreas donde las electrocuciones y/o colisiones pueden estar teniendo un impacto significativo en la fauna silvestre. Esta información general puede ser útil para el desarrollo de estrategias de gestión local o regional o planes de monitoreo.

Para este tipo de análisis destaca la iniciativa AVISTEP (*Avian Sensitivity Tool for Energy Planning*; <https://avistep.birdlife.org/map>), desarrollada por BirdLife International (BirdLife International, 2025), una herramienta cartográfica en línea de acceso gratuito que proporciona una evaluación espacial detallada de la sensibilidad de las aves en relación con distintos tipos de infraestructuras energéticas como las líneas eléctricas, parques eólicos (en tierra y mar adentro) e instalaciones solares fotovoltaicas (Figura 7.10). La herramienta está disponible, por el momento, para algunos países africanos y asiáticos, y se espera seguir extendiéndola progresivamente a más países. En América Latina, el primer mapa estará disponible para Argentina en 2027.



Figura 7.10. AVISTEP es una herramienta cartográfica en línea, desarrollada por BirdLife International y disponible cada vez para más países, que proporciona una evaluación espacial detallada de la sensibilidad de las aves en relación con distintos tipos de infraestructuras energéticas. Arriba: mapa general de la herramienta; abajo, mapa de sensibilidad para Kenia. © BirdLife International

Cuando se dispone de información no solo sobre la distribución de especies sensibles, sino también sobre la distribución de las líneas eléctricas, se pueden elaborar **mapas de riesgo** (Biasotto et al., 2021). Esos mapas serán más precisos si también se incorpora información complementaria sobre factores que tengan incidencia en la valoración del riesgo, como uso de la tierra, topografía, áreas de congregación de aves (vertederos, humedales, fuentes de agua, etc.), factores meteorológicos (por ejemplo, frecuencia de la niebla) e incidentes previos de mortalidad de fauna (Pérez- García, 2014; Silva et al., 2014; Šmídt et al., 2019; Crespo-Luengo et al., 2020; Ngila et al., 2024).

Los **movimientos detallados de ejemplares** proporcionan una información más útil y valiosa que la mera presencia o ausencia de esa especie sensible en una localización determinada. El desarrollo y abaratamiento de los dispositivos de marcaje con emisores satelitales o GPS han supuesto que existan miles de ejemplares de diferentes especies, con miles o incluso millones de localizaciones acumuladas. Estos dispositivos no solo proporcionan información sobre sus rutas de vuelo, también sobre su velocidad y altura de vuelo. Esta información, combinada con las características de las líneas eléctricas y de otros parámetros ambientales, permite evaluar con detalle el riesgo de colisión en los tramos individuales de las líneas eléctricas existentes (Rollán et al., 2010; Borner, 2016; Pretorius et al., 2023; Pay et al., 2025) o, combinando datos de muchos ejemplares de diferentes especies, confeccionar mapas de riesgo para grandes áreas geográficas (Gauld, 2022).

Existen sitios web que muestran los movimientos de aves marcadas con transmisores y otros datos recopilados, como es el caso de Movebank (<https://www.movebank.org/cms/movebank-main>), una base de datos en línea alojada por el Instituto Max Planck de Comportamiento Animal que ofrece información sobre el seguimiento de animales. La plataforma ayuda a los investigadores que realizan este tipo de seguimiento de fauna con transmisores a gestionar, compartir, analizar y almacenar sus datos. Los movimientos de los animales se pueden rastrear en un mapa interactivo (Figura 7.11).

Estos recursos permiten cruzar los datos sobre las áreas donde las aves se mueven y se congregan con información sobre la red eléctrica, y así encontrar dónde puede haber áreas de conflicto potencial.

Los **mapas de sensibilidad y de riesgo** permiten identificar las áreas **prioritarias** en las que centrar las medidas de mitigación o protección y determinar con precisión, junto con los criterios técnicos para su construcción, las zonas más adecuadas para la instalación de nuevas líneas. Buenos ejemplos de este tipo de

Figura 7.11. Movebank es una base de datos en línea gratuita para monitoreo de animales equipados con dispositivos de monitorización, alojada por el Instituto Max Planck de Comportamiento Animal. Ayuda gestionar, compartir, analizar y almacenar este tipo de datos. © Movebank

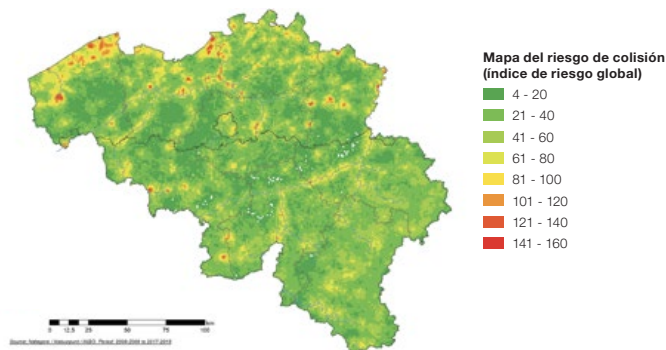


análisis cartográfico sobre el riesgo de colisión con la red de alta tensión, para el conjunto de las líneas de transmisión, son los realizados en España (Red Eléctrica de España, 2017; Figura 7.12; ver caso de estudio 9.10), y en Bélgica (Derouaux et al., 2012; Paquet et al., 2022; Figura 7.13).

Figura 7.12. Nivel de prioridad para la señalización anticolisión en la red eléctrica española de transmisión (del 1 al 5, de menor a mayor). El mapa muestra los diferentes tramos de las líneas según el nivel de prioridad y las zonas donde se concentran los tramos con mayor nivel (marcadas en morado). © Redeia



Figura 7.13. Mapa del riesgo de colisión para Bélgica, que muestra un gradiente del riesgo de colisión de aves (ocho niveles) en caso de que se construya una línea eléctrica en cualquier zona del territorio. Fuente: adaptado de Derouaux et al., 2020; traducción propia.



7.4. Líneas y postes prioritarios

Dadas las limitaciones operativas y económicas que supone la gran extensión de las líneas eléctricas, en general, en todos los países, una vez establecidas las zonas de sensibilidad y/o riesgo, hay que establecer unos **criterios para priorizar las actuaciones**. Dado que la mayoría de los incidentes (electrocuciones/colisiones) se producen en un número reducido de tramos o soportes, es de suma importancia identificarlos para centrar en ellos las actuaciones y hacer una planificación de las mismas.

Como punto de partida para esa priorización, es imprescindible tener una cartografía digital de las líneas eléctricas existentes y de los postes. En función de la información disponible, estableceremos los criterios de priorización. Un ejemplo sencillo de criterios, para el caso de la electrocución, podría ser este (UICN, CAGPDS y HCEFLCD, 2018):

- 1 Tasa de mortalidad (número de individuos electrocutados encontrados bajo el poste o sus proximidades)
- 2 Uso del soporte como percha
- 3 Proximidad del soporte a otros soportes que cumplan con los criterios anteriores
- 4 Configuración o diseño del soporte, según criterios específicos que determinan el peligro intrínseco que supone para la fauna esa tipología de poste

Si tenemos información muy detallada, se pueden establecer prioridades mediante la elaboración de **modelos predictivos de peligrosidad**, a partir de las características de los postes (tipo y tamaño de cadena de aisladores, presencia y configuración de puentes, existencia de dispositivos de maniobra, etc.; ver secciones 2.2 y 2.3) y de su ubicación en términos de hábitat y topografía (de la Cova, 1997; Tintó et al., 2010; Guil et al., 2011; Dwyer et al., 2014; Hernández-Lambráño et al., 2018; Mojica et al., 2018; Solt et al., 2021; Dwyer y Mojica, 2022). La evaluación a nivel de poste permite optimizar el gasto, priorizando la inversión en aquellos que están teniendo mayores impactos sobre la fauna o potencialmente más peligrosos (Mojica et al., 2022).

Estos modelos predictivos tienen el inconveniente de requerir información muy precisa, por lo que su uso a escalas geográficas relativamente grandes resulta complicado. Además, otros factores como la densidad de líneas eléctricas, los usos del suelo, la



Figura 7.14. A la hora de evaluar la peligrosidad de una línea, es importante tener en cuenta otros factores además de sus características, como la presencia de fuentes de agua o la densidad de presas en las cercanías. Líneas eléctricas en Panamá. HighVoltage 5576 vía Wikimedia Commons. CC BY-SA 4.0

presencia de fuentes de agua o de presas que cazar (lo que atraería, por ejemplo, a ciertas aves rapaces) pueden ser más importantes que las propias características de los postes para evaluar la peligrosidad y, por tanto, para concretar adecuadamente el grado de prioridad (Pérez-García, 2014; Guil et al., 2015; Figura 7.14).

A la hora de evaluar la prioridad de diferentes áreas sensibles o de riesgo, habría que considerar como prioritarias **aquellas que se hayan identificado como “sumideros”** para las especies sensibles o amenazadas en cuestión, con evidencias de que allí la mortalidad supera a la productividad; o bien aquellas que pueden estar funcionando como tal si, dentro del área de distribución de la o las especies, es donde se detecta una mayor mortalidad. El objetivo en esas áreas será identificar las localizaciones más utilizadas por la especie (o las especies) y localizar los **puntos (tramos de línea o postes) que supongan un mayor riesgo de mortalidad**, donde se centrará el trabajo (Hernández-Matías et al., 2020; ver Tabla 7-2 para conocer los principales pasos a seguir en el proceso de selección y priorización). A escalas reducidas, si se ha detectado mortalidad en uno o unos pocos postes específicos de una línea, pero los cercanos son iguales o presentan un riesgo similar, habría que considerar la opción de actuar en toda la línea, creando así zonas seguras. Tomar medidas sobre toda la línea de una sola vez puede resultar menos costoso que tener que hacerlo varias veces a medida que se producen más incidencias.

Tabla 7-2. Resumen de las etapas del proceso de selección y priorización de localizaciones en líneas para actuaciones correctoras y mitigadoras de impactos.

Los pasos a seguir en una determinada zona geográfica para determinar qué soportes o tramos priorizar para su adecuación y corrección serían los siguientes:
1. Selección de la zona a inspeccionar. basándose en criterios que pueden ser acumulativos, como distribución de especies susceptibles de electrocución o colisión, presencia de especies amenazadas, existencia de áreas donde se conoce o sospecha impacto de electrocución o colisión, presencia de sitios de concentración de individuos, conocidos o sospechados (por ejemplo, humedales), o de áreas protegidas. Se puede preparar una lista de criterios que ayudará a establecer áreas prioritarias.
2. Identificación de las líneas eléctricas a evaluar. En primer lugar, es recomendable conseguir un mapa del trazado de las líneas eléctricas en la zona seleccionada, o crear uno en formato SIG si no existe. En segundo lugar, se recomienda obtener información sobre la localización de los soportes eléctricos (cartográfica) y sobre su tipología y diseño, o sobre el tipo de línea eléctrica, cables, etc. al evaluar el riesgo de colisión, y otros detalles técnicos; también sobre la distribución de los hábitats y especies sensibles, así como datos detallados sobre registros de mortalidad por electrocución y/o colisión. La información se puede obtener mediante revisión documental si existe suficiente literatura e información cartográfica de referencia, combinándolo con trabajo de campo.
3. Evaluación del riesgo de los postes o tramos de líneas eléctricas y priorización de medidas correctoras. En el siguiente paso, se utilizará la información previamente obtenida a través del trabajo documental o de campo para establecer el nivel de peligrosidad de cada soporte y/o los parámetros de los tramos de línea eléctrica identificados: diseño del poste/línea, hábitat y presencia potencial de especies en riesgo. Para este fin se puede utilizar uno de los varios modelos publicados en la literatura científica (Tintó et al., 2010; Dwyer et al., 2014; Bedrosian et al., 2020) o se podría desarrollar un modelo para el análisis en cuestión. Una vez establecido el nivel de peligrosidad, se podrán priorizar los trabajos de corrección en aquellos puntos de la línea donde el riesgo sea mayor, y donde sea urgente tomar medidas por el impacto sobre las especies objetivo.

Fuente: elaboración propia

Otra forma de establecer prioridades es, como se ha mencionado, a través de la información de sus movimientos proporcionada por los ejemplares marcados con emisores GPS o satélite. Al superponer sus posiciones y rutas de vuelo con la red eléctrica, se pueden identificar zonas prioritarias de actuación, donde coincidan una alta densidad de localizaciones con una alta densidad de líneas eléctricas (BirdLife Cyprus y Game and Fauna service, 2023), o se pueden seleccionar líneas o incluso tramos concretos de líneas para priorizar medidas anticolidión (FCQ, 2023; Marques et al., 2024).

7.5. Toma y recopilación de datos de campo

Dados los numerosos detalles técnicos y el gran número de líneas y soportes eléctricos que se deberían evaluar en este tipo de actuaciones, es imprescindible disponer de un **sistema estandarizado de toma y tratamiento de datos**, tanto para caracterizar e identificar líneas y postes eléctricos peligrosos, como para registrar la mortalidad asociada, si hay (Figura 7.15). La información básica que debe recopilarse sobre el terreno se muestra en la Tabla 7-3.

Tabla 7-3. Información básica que debe recopilarse sobre el terreno en los protocolos de identificación y caracterización de líneas eléctricas para determinar o monitorear su peligrosidad en cuanto al riesgo de electrocución/colisión.

Información general. Información básica para identificar el documento (el informe o la hoja de entrada de datos), la persona que recopila la información, la ubicación, etc.

- Código de identificación de la línea eléctrica
- Persona que recoge los datos: nombre completo y datos de contacto (teléfono, correo electrónico)
- Fecha y hora
- Breve descripción de las condiciones climáticas
- Identificación de la ubicación: nombre del lugar, municipio, etc.
- Hábitat: tipo de hábitat general, por ejemplo, bosque, matorral, cultivos herbáceos, cultivos arbóreos

Identificación y caracterización de la línea eléctrica y soportes. La línea eléctrica y sus postes o torres deberían describirse utilizando la terminología básica proporcionada en el capítulo 2 de este manual, siendo muy útil acompañar esta información con fotografías de los postes/torres, de los tramos de la línea, de sus elementos o de las medidas correctoras, si hay.

- Titularidad/propiedad de la línea (información generalmente obtenida *a posteriori*)
- Nombre de la línea eléctrica (como en el caso de la titularidad)
- Tensión nominal (si en el momento se desconoce, se completará más adelante)
- Código identificativo de la línea (recomendable crear uno para facilitar el tratamiento de los datos; puede establecerse previamente o añadirse después)

Electrocuciones:

- Código del poste (puede indicarse de forma provisional en el campo y crear otro después)
- Descripción de los postes: tipo de cruceta, presencia y disposición de aisladores de tensión y puentes, presencia de seccionadores o transformadores y otras características que puedan ser relevantes descritas en el capítulo 4
- Ubicación, tomada en la base del soporte

Colisiones:

- Descripción de la línea: presencia y número de cables de guarda, número y disposición de fases y otras características que puedan ser relevantes descritas en el capítulo 5
- Ubicación: para una sección que presente riesgo de colisión, tomar las coordenadas de los dos postes/torres de cada extremo del tramo
- Marcadores de línea: presencia o no de marcadores, disposición, tipo, estado, etc.

Mortalidad detectada. Información detallada sobre mortalidad/incidentes, si se detecta, siendo también muy útil la toma de fotografías de los restos (o animal herido) y de su ubicación en las cercanías de la línea.

- Especie(s)
- Número de individuos
- Sexo y edad (si se conoce)
- Condición del individuo (herido o muerto)
- Estado del cadáver o de los restos (fresco, en descomposición, esqueleto)
- Lesiones aparentes (de acuerdo con las Tablas 6-1 y 6-2, capítulo 6)
- Posición y distancia a la línea, en el caso de colisión, y distancia al poste, en el de electrocución

Es importante identificar el poste/tramo de línea más cercano, que ha podido causar la muerte, y asegurarse de tomar los datos de identificación y caracterización descritos arriba.

Mortalidad real. Si se quieren obtener estimaciones de mortalidad real, es necesario realizar experimentos y estudios a nivel local para obtener valores específicos de las tasas de desaparición y detectabilidad de los cadáveres (ver sección 7.6 y las referencias allí citadas).

Fuente: elaboración propia

La unidad de muestreo deberá ser el poste en el caso de las electrocuciones o el tramo de línea en las colisiones. La caracterización y el cartografiado digital se pueden realizar a distancia o incluso con imágenes georreferenciadas con buena resolución, pero para evaluar la mortalidad hay que recorrer la línea sobre el terreno.

Los animales electrocutados o sus restos suelen estar en la base del poste o, en ocasiones, sobre él (si no han caído), de manera que la **metodología para la búsqueda de casos de electrocución** consiste en recorrer la línea y revisar la base de los postes y un área de 3-4 metros alrededor. Sin embargo, en las colisiones los restos del ejemplar muerto pueden encontrarse a cierta distancia de la línea, por lo que es imprescindible realizar la búsqueda de una forma sistemática que permita comparar resultados entre diferentes lugares. Existen varias **metodologías para la búsqueda sistemática de cadáveres de colisiones** con líneas eléctricas

Figura 7.15. El sistema utilizado para la recolección de datos en el campo debería ser estandarizado y centralizado. Monitoreo de líneas durante misión organizada por UICN Med para evaluar impactos sobre la fauna, norte de África. © Helena Clavero



(Carrascal et al., 2016; Lazo et al., 2016; CIBIO, 2020; Gómez-Catasús, et al., 2020; revisión general en Martins et al., 2023). Algunas recomendaciones básicas son las siguientes (Figura 7.16):

- El ancho de la franja de observación se establece en 60 m, 30 m a cada lado del eje de la línea, distancia donde se alcanzan los valores máximos de costo-efectividad en la búsqueda de cadáveres (Gómez-Catasús, et al., 2020).
- Cada observador debe cubrir una banda visual de 10 m a cada lado de la línea de avance como máximo, manteniendo una velocidad de aproximadamente 2 km/h; a esta velocidad, la longitud promedio de un sector de muestreo que debería cubrir un observador en un solo día de campo sería de aproximadamente 4 a 5 km lineales de línea eléctrica, dependiendo de la transitabilidad del terreno.
- En hábitats con vegetación densa se recomienda el uso de perros entrenados (ver más adelante en este mismo capítulo).

En la caracterización de líneas, **los datos deben acompañarse de fotografías** generales del poste y de detalle de la cruceta para evaluar el riesgo de electrocución, y de una vista general del tramo de línea y la disposición de los cables para la evaluación del riesgo de colisión. En caso de mortalidad, se incorporarán imágenes del cadáver/ restos (huesos, plumas, piel, etc.). Muchas cámaras fotográficas y teléfonos celulares pueden incluir información de geolocalización con las fotografías realizadas, hay que comprobar que la opción esté activada, ya que es útil (Figuras 7.17 y 7.18).

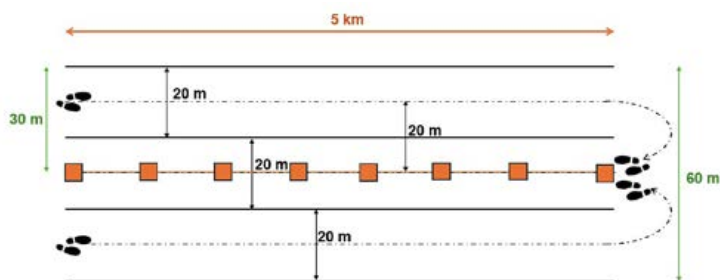


Figura 7.16. Esquema del recorrido para la búsqueda sistemática de cadáveres de colisiones a lo largo de una línea. Adaptación de la metodología recomendada por Carrascal et al. (2016). Longitud máxima: 5 km (según transitabilidad); anchura de banda de muestreo: 60 m; anchura de banda de observación: 20 m. Se realizan tres recorridos paralelos al tendido eléctrico en un itinerario de ida y vuelta realizado por dos observadores. © Ricardo García del Moral

Es importante que todos los recolectores de datos utilicen el **mismo datum y sistema de coordenadas** (UTM o geográficas) para facilitar el procesamiento posterior. Si se eligen coordenadas UTM, es fundamental comprobar que el *datum* y la zona geográfica utilizados son los correctos. Lo más práctico puede ser utilizar el sistema de coordenadas geográficas globales WGS84 (el que utiliza Google Earth, por ejemplo). Los datos deben ser lo más precisos posible; errores de unas pocas docenas de metros pueden conducir a una identificación errónea de los soportes y, por tanto, a errores en la ejecución de los trabajos de mitigación.



Figura 7.17. La utilización de aplicaciones para celular permite la recogida estandarizada y centralizada de imágenes y datos. Misión de campo para monitoreo de líneas y búsqueda de puntos de mortalidad de fauna. © Carlos Torralvo



Figura 7.18. Cuando se descubre un cadáver en las inmediaciones de una línea, es importante tomarle fotos y buscar en el área cualquier signo que indique la causa de la muerte o proporcione otra información relevante. Huerequeque (*Hesperoburhinus superciliaris*) muerto bajo una línea eléctrica, Chile. Benjamín Gallardo vía iNaturalist Chile. CC BY-NC

Los **formularios y fichas de toma de datos** (Tabla 7-3) deben diseñarse de forma que tanto su cumplimentación como su posterior interpretación sean lo más sencillas posible, mediante el uso de diagramas y dibujos, casillas de verificación 'sí/no', espacios específicos para cada dato, etc. Es recomendable agregar en éstos información de referencia útil, como un glosario de los elementos técnicos de las líneas eléctricas, datos de una persona de contacto, una dirección (física o electrónica) a la que se puede enviar la información, etc. Si en el pasado ya se implementaron medidas correctoras, hay que incluir un apartado para describirlas e indicar su estado y eficacia. Es práctico también incluir un campo 'Notas' para cualquier información complementaria, como la presencia de nidos, a qué especies pertenecen, su estado, etc., junto con su ubicación o una fotografía, o referencias a otros incidentes que hayan podido ocurrir en el pasado en el mismo punto. También se puede utilizar para mencionar otras líneas eléctricas cercanas que puedan ser de interés o lugares cercanos de congregación de fauna o similar

El trabajo de campo puede suponer el esfuerzo de recorrer varios kilómetros a pie en un solo día, con frecuencia por terrenos difíciles. Existen aplicaciones móviles y plataformas que facilitan la toma de datos de campo y su posterior tratamiento; su uso es muy recomendable. El celular nos permite recopilar a la vez información técnica, cartográfica y fotográfica, lo que de otro modo tendría que hacerse por separado. Algunas de estas aplicaciones permiten diseñar formularios personalizados para cualquier tipo de estudio.

En el caso de trabajos que impliquen varias personas o equipos, es muy útil el uso de **plataformas de toma y recopilación de datos**, las cuales permiten recolectar información de manera colectiva y descentralizada, asegurando que todo el mundo recoge los datos de la misma manera y que se compilan y guardan en un sitio común. Una de las más utilizadas es Epicollect (<https://five.epicollect.net/>). Desarrollada por el *Imperial College of London*, es una herramienta gratuita, potente y flexible capaz de cubrir la mayoría de las necesidades de toma de datos, por extensas que sean; funciona en dispositivos Android e iOS.

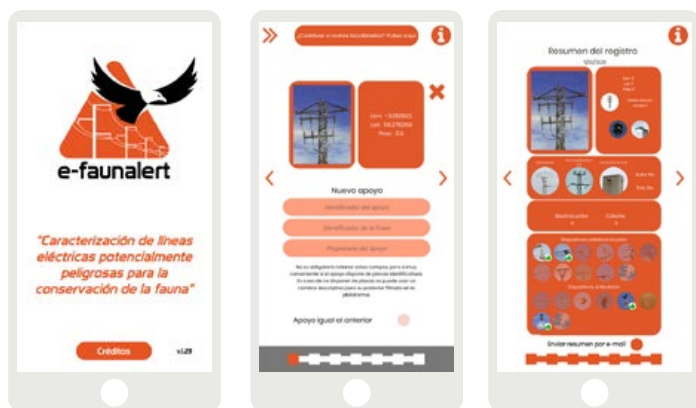
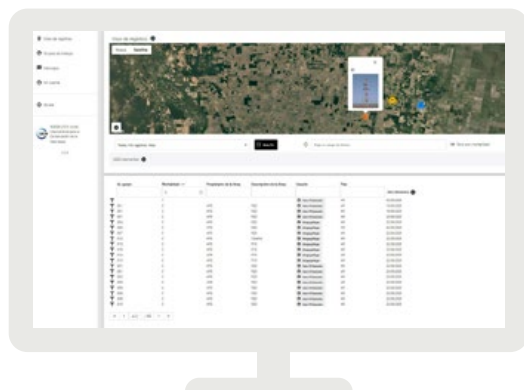


Figura 7.19. El uso de aplicaciones facilita la recolección, revisión y gestión de datos de forma homogénea y sistemática. “e-faunalert” es una aplicación para celular desarrollada por UICN Med. En la imagen, capturas de pantalla del formulario de registro y caracterización de una línea a través de esa *app* en celular (arriba), y visor de los registros disponible en la plataforma web (abajo). © e-faunalert/UICN



De la misma manera pueden utilizarse las plataformas de ciencia ciudadana mencionadas en la sección 7.1, tanto para la toma de datos como para obtener registros de interés de otros usuarios, como son los datos de mortalidad, que pueden buscarse para detectar posibles puntos críticos. Además, permiten el desarrollo de iniciativas para la toma de datos específicos en lugares concretos. En este sentido, en Chile y Costa Rica hay sendos proyectos de iNaturalist para la recopilación de información sobre mortalidad de fauna en tendidos eléctricos.

Algunas entidades han desarrollado **aplicaciones móviles** específicas para recopilar datos de líneas eléctricas (Harness et al., 2016a; Iglesias Lebrija et al., 2021). UICN Med ha desarrollado una aplicación gratuita, e-faunalert (<https://e-faunalert.org/>) para registrar datos geo-referenciados tanto de líneas eléctricas como de mortalidad de fauna asociada a estas infraestructuras (Figura 7.19). La aplicación permite una toma

de datos sencilla, pero detallada y técnica, de las características de las líneas y postes, y de cadáveres encontrados, con imágenes y secciones de ayuda para los menos expertos. Los registros pueden visualizarse, gestionarse o descargarse a través de un mapa-visor en la plataforma web asociada, donde también pueden verse los registros de los otros usuarios y contactar con ellos. Disponible para Android en español, inglés y francés, se puede utilizar en cualquier parte del mundo, con opciones de crear grupos de trabajo o mensajería interna.

Existen incluso iniciativas de este tipo con participación de operadores eléctricos, como un proyecto en Alemania que ha desarrollado el '*Vogelfundportal/Bird Portal*', un portal en línea que permite a los usuarios informar sobre aves muertas encontradas alrededor de líneas eléctricas. Se trata de una iniciativa conjunta de NABU/BirdLife Alemania y la asociación *Renewables Grid Initiative* (RGI), con participación de siete compañías eléctricas de ese país¹⁰.

Otra tecnología que puede ser de gran utilidad es el **uso de drones** para la caracterización de líneas aéreas (Mulero-Pázmány et al., 2013; Yang et al., 2020), ya utilizados por las compañías eléctricas para su monitoreo e inspección; especialmente relevante en el caso de postes y líneas potencialmente peligrosas ubicadas en zonas de difícil acceso.

7.6. Evaluación de la mortalidad real

Como se ha dicho anteriormente, las colisiones y electrocuciones se concentran en determinados puntos o partes concretas de la red eléctrica, los puntos de alta mortalidad o “puntos negros”, en función de una serie de variables ligadas a su estructura y diseño, el entorno y las características biológicas y de comportamiento de las especies presentes.

Las tasas de mortalidad que se dan en esos puntos son muy variables. En el caso de las colisiones, las cifras oscilan desde menos de un ave muerta por kilómetro de línea eléctrica al año hasta 170 víctimas o más por kilómetro al año, con casos extremos

¹⁰ Para más información, consultar:

<https://renewables-grid.eu/activities/ird/bird-portal.html>, <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/voegel/gefaehrungen/stromtod/25433.html>; mapa interactivo en línea disponible en: <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/voegel/gefaehrungen/stromtod/25541.html>



Figura 7.20. La mortalidad suele concentrarse en ciertos tramos o postes, "los puntos negros"; el principal objetivo de los trabajos de campo es encontrarlos para remediar el impacto. Punto de colisión en Rio Grande do Sul, Brasil. © Diógenes Arruda

de casi 500 víctimas por kilómetro al año en Estados Unidos (Ferrer, 2012; Loss et al., 2014; Figura 7.20). En el caso de las electrocuciones, diferentes estudios muestran cifras entre 0,001 a 2,40 aves por poste y año (ver recopilación de Loss et al., 2014). Una recopilación de trabajos reciente mostró como mayores índices de electrocución $13,9 \pm 29,4$ aves electrocutadas por cada 100 torres en Europa, $8,65 \pm 6,07$ rapaces electrocutadas en Sudamérica y $2,98 \pm 5,96$ águilas electrocutadas por cada 100 torres en África (Guil y Pérez-García, 2022). En Nepal, otro estudio realizado durante 7 meses entre 2021 y 2022 arrojó en 30,6 km de líneas eléctricas una mortalidad de 43 individuos de 11 especies diferentes, con una tasa de colisión por kilómetro de 0,55 y de 0,22 electrocuciones por poste (Hamal et al., 2023).

A la hora de establecer tasas de mortalidad a partir de datos recogidos en campo, es muy importante tener en cuenta que cuando se buscan restos y cadáveres no se encuentran todos, que los cuerpos se degradan con el tiempo y, sobre todo, que los cadáveres son una fuente importante de alimento para depredadores y carroñeros oportunistas. Esta fuente puede ser predecible y abundante en estos puntos negros, de manera que incluso algunos individuos de esas especies aprenden a identificar esas zonas y las visitan con frecuencia (Ferrer, 2012).

La acción de los carroñeros retirando los restos de animales muertos es muy variable, habiéndose comprobado que las especies pequeñas desaparecen antes que las grandes (Ferrer, 2012; Borner et al., 2017). En este contexto, la **tasa de persistencia** indicaría la proporción de cadáveres que persisten durante un tiempo determinado, relacionada con el tiempo de persistencia, lapso durante el cual un cadáver permanece detectable. La tasa de persistencia, o su contraria, de desaparición, es muy variable, y aunque puede verse influenciada por factores como el tipo de vegetación, la estación o el clima (por ejemplo, las fuertes lluvias y el calor hacen que los cadáveres se degraden más rápido), depende principalmente de la composición y densidad de la comunidad carroñera (Ponce et al., 2010; Barrientos et al., 2018; Ravache et al., 2026). En ella se incluyen tanto mamíferos como aves, aunque los primeros son responsables de la mayoría de las desapariciones.

Se han registrado **tasas de desaparición** de hasta el 32% en los dos primeros días después de la muerte y de más del 70% al cabo de un mes, siendo muy rápida inmediatamente después de la muerte y progresiva en los días posteriores (ver el estudio de Ponce et al., 2010). Los cadáveres de aves pequeñas desaparecen más rápidamente (casi el 90% al segundo día en el caso de las más pequeñas), ya que suelen consumirse sin dejar restos, a diferencia de las especies de mayor tamaño, que frecuentemente se consumen *in situ*, pero sólo parcialmente, permaneciendo

Figura 7.21. Los cadáveres de aves grandes tardan más en desaparecer que los de aves pequeñas, un factor que hay que tener en cuenta para estimar tasas de desaparición y calcular mortalidad real. Guacamayo de Lear o añil (*Anodorhynchus leari*) electrocutado, Brasil. © J. Thiago Filadelfo



en ocasiones restos detectables e identificables durante meses (Ponce et al., 2010; Schutgens et al., 2014; Uddin et al., 2021; Figura 7.21). También se han observado diferencias en la persistencia entre los diferentes grupos de especies, teniendo las rapaces una mayor tasa de persistencia que las especies cinegéticas (Hallingstad et al., 2023); parece que los depredadores presentan cierta aversión a esos cadáveres, aunque terminan por hacerlos desaparecer.

Las tasas de desaparición dependen en gran medida de la ubicación geográfica de la línea eléctrica, que en última instancia determina factores como la presencia y densidad de carroñeros y la facilidad con la que ellos (y los observadores) encuentran los cadáveres; además, varían con la época del año (Borner et al., 2017; Bernardino et al., 2020; Bernardino et al., 2022).

Para establecer la tasa de desaparición en una zona determinada y así poder hacer estimaciones aproximadas de la mortalidad real se recurre a experimentos en los que se colocan aves muertas de diferentes tamaños debajo o cerca de una línea eléctrica. Los cadáveres son revisados periódicamente por observadores durante un tiempo determinado con el fin de cuantificar y medir la acción de los carroñeros presentes en la zona de estudio. Las tasas de persistencia deben calcularse para cada grupo diferente de animales (en función de su tamaño); normalmente se utilizan cadáveres de animales domésticos porque tienen tasas de persistencia similares a las de sus parientes silvestres. Los cuerpos descongelados son adecuados para estos ensayos ya que sus tasas de persistencia son similares a las de los cuerpos frescos de muerte reciente (Barrientos et al., 2018; CIBIO, 2020).

Para realizar una buena aproximación a la mortalidad real es conveniente, además de la tasa de desaparición o persistencia, establecer la **tasa de detectabilidad** para esa zona y los observadores concretos que vayan a participar en el estudio, que probablemente no serán capaces de encontrar todos los cadáveres, incluso cuando no haya carroñeros. La efectividad de la búsqueda depende de diversos factores, como el tamaño y tipo de los restos, la cobertura vegetal, la naturaleza del terreno y la propia experiencia de los investigadores, que ni siquiera cuando están experimentados son capaces de encontrar todos los cadáveres o restos presentes (Ponce et al., 2010; Ferrer, 2012; Figura 7.22). Así, la tasa de detectabilidad varía considerablemente, con valores del 25 al 85% (Ferrer 2012; Borner et al., 2017; Gómez-Catasús et al., 2020). Además de las habilidades de cada observador, intervienen otros factores como el tamaño del ave (los cadáveres de mayor tamaño se detectan más fácilmente), su estado de descomposición y la densidad y altura de la vegetación (es más difícil encontrar cadáveres en matorrales o pastizales densos) (Borner et al., 2017; Constantini et al., 2017; Gómez-Catasús et al., 2020). La efectividad de la búsqueda se puede aumentar mediante el uso de perros entrenados para buscar cadáveres, especialmente en áreas de vegetación densa y para aves pequeñas (Homan et al., 2001; Paula et al., 2011; Domínguez del Valle et al., 2020; Boland et al., 2026).



Figura 7.22. El tamaño y tipo de los restos de animales muertos, la cobertura vegetal, la naturaleza del terreno y la propia experiencia de los buscadores determinarán la tasa de detectabilidad de los cadáveres en los itinerarios de búsqueda. Monitoreo de mortalidad asociado a líneas en Maule, Chile. Juan Contardo vía iNaturalist Chile. CC-BY-NC

Una forma de abordar la detectabilidad sin necesidad de realizar experimentos con cadáveres es a través de métodos de estimación de parámetros de probabilidad de detección mediante la anotación de la distancia a la que se producen los contactos con los objetos de estudio. Estos métodos están muy refinados y han sido ampliamente contrastados, existiendo además paquetes de análisis de datos en entornos abiertos (Narváez y Zapata-Ríos, 2020).

En definitiva, los cadáveres encontrados durante la inspección de una línea eléctrica confirman la existencia del problema y dan una idea de su posible gravedad, en función de la cantidad de restos encontrados y de las especies afectadas. Pero **para obtener una buena estimación de las tasas de mortalidad reales hay que realizar estudios locales que determinen las tasas de desaparición y detectabilidad en el área de estudio**. Un muestreo mensual puede ser suficiente para establecer estos índices en el caso de aves de tamaño mediano y grande, pero para aves pequeñas son necesarias visitas semanales o incluso más frecuentes (diarias) para obtener valores que puedan considerarse confiables (Borner et al., 2017; Domínguez del Valle et al., 2020). El uso de cámaras-trampa permite un monitoreo más intensivo en los estudios de persistencia, habiéndose comprobado que se consigue una mayor precisión en los resultados (Ravache et al., 2024).

Actualmente, se dispone de diferentes **métodos para corregir estos sesgos** y evaluar la mortalidad de una manera más realista que el simple conteo de cadáveres. Un buen ejemplo es la herramienta “GenEst”, conjunto de modelos estadísticos y herramientas de software para la estimación de la mortalidad, desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos para estimar el número de muertes de aves y murciélagos en instalaciones de energía solar y eólica (Dalthorp et al., 2018b). El modelo es suficientemente general como para ser de utilidad en diversas situaciones cuando las probabilidades de detección y las coberturas de búsqueda son inferiores al 100% (Dalthorp et al., 2018a). Además de GenEst existen otros modelos; alguno de ellos incluso propone eliminar la necesidad de realizar las pruebas de persistencia previas en el campo (Biscaia et al., 2025).

Obtener tasas de mortalidad lo más realistas posibles es importante para establecer prioridades de cara a implementar medidas correctoras en las áreas donde se hayan detectado incidencias.

7.7. Creación de base de datos y mapas

Dada la extensión de la red eléctrica, cualquier estudio supone el levantamiento de una enorme cantidad de datos, por lo que es recomendable **centralizar al máximo su recopilación**, a nivel de departamento, región, espacio natural o incluso país. Para ello es muy importante desarrollar **protocolos comunes de toma de información**, de manera que se facilite la transferencia, compilación y análisis de los datos.

La adopción de una metodología y directrices uniformes para la realización de estudios, junto al uso de formatos de datos estandarizados, garantiza su calidad y la consecución de los objetivos perseguidos, a la vez que posibilita que sus resultados sean homogéneos y comparables.

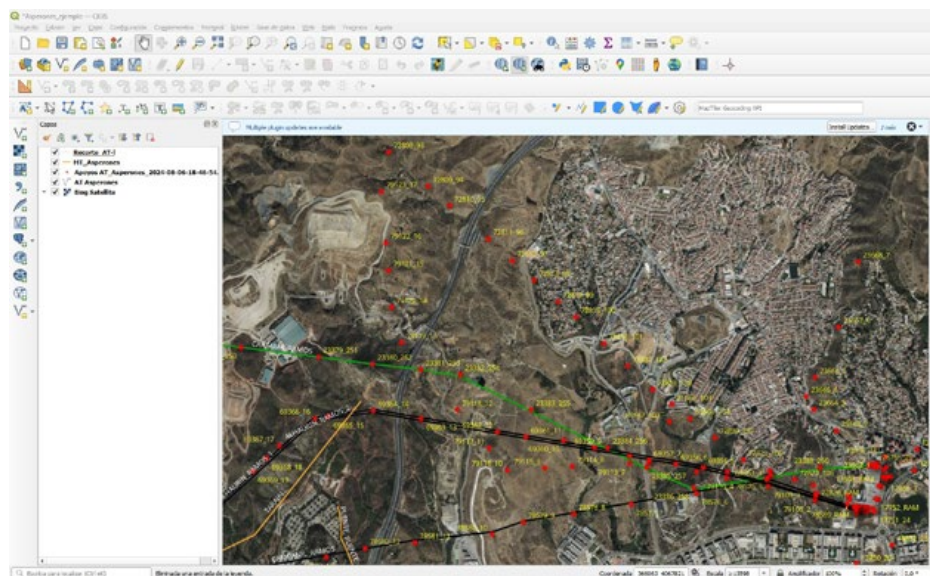


Figura 7.23. La asociación de datos recopilados, gestionados y visualizados a través de un sistema de información geográfica facilita el análisis de dichos datos y la toma de decisiones, como la interfaz QGIS, con mapas y datos asociados. En la imagen, proyecto de trabajo con líneas eléctricas. Elaborado por los autores.

El **uso de aplicaciones para celular y plataformas** (como las descritas en la sección 7.5) permite de una manera sencilla la aplicación de esos protocolos comunes, la estandarización de la información recopilada y la creación de bases de datos. Éstas pueden consistir en simples hojas de cálculo o adoptar formatos más complejos que permitan análisis más profundos. Lo importante es que la información recopilada esté integrada o al menos se pueda consultar en un **sistema de información geográfica** (SIG) para trabajar directamente de forma cartográfica con ella. Entre los SIS, ArcGIS es quizás el más conocido y el que ofrece mayores posibilidades, pero requiere comprar una licencia de uso. Una buena alternativa gratuita y de potencia similar es QGIS, un SIG gratuito de código abierto para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android (Figura 7.23); además, existen otras herramientas gratuitas como gvSIG, GRASS, SAGA GIS y Kosmo.

El uso de *apps* y plataformas permite de una manera sencilla la aplicación de esos protocolos comunes, la estandarización de la información recopilada y la creación de bases de datos

Google Earth y su formato de archivo KMZ pueden utilizarse para de una manera sencilla mostrar, enviar o recibir datos en el caso de personas que no estén familiarizadas con el uso de un SIG; normalmente estos sistemas pueden exportar los datos procesados a este formato sin problema.

La importancia de las herramientas SIG estriba en que además de gestionar los datos recopilados, permiten asociarlos a otras fuentes de información, como usos del suelo, otras infraestructuras, modelos digitales del terreno, etc., permitiendo análisis integrados más profundos.

7.8. Importancia de la difusión de la información

Tan importante como la producción, recopilación y gestión de datos es **compartir la información y ponerla a disposición de todos aquellos que puedan participar en los procesos de toma de decisiones**, en todas las etapas, desde la planificación

de proyectos de nuevas líneas, el monitoreo de los impactos de las existentes o sus interacciones con la fauna, hasta el diseño y la implementación de medidas de mitigación (ver capítulo 8). En este sentido, las autoridades ambientales deberían facilitar la consulta pública y la difusión de los planes y programas estratégicos gubernamentales, los estudios de impacto ambiental asociados a ellos y a proyectos específicos, las evaluaciones ambientales y los resultados de los planes de vigilancia y monitoreo. Las compañías también tienen un rol destacado en esto último.

Para que las empresas planifiquen y diseñen infraestructuras de bajo impacto e implementen medidas de mitigación cuando sea necesario, y para que los gobiernos desarrollen los marcos regulatorios apropiados y/o los acuerdos necesarios con las empresas, ambos necesitan tener la mejor información existente a su disposición, pero también deben poner de su parte para obtenerla y hacer buen uso de ella. La publicación y el intercambio de dicha información pueden ayudar a generar confianza entre las diferentes partes interesadas, al tiempo que aumentan el conocimiento sobre los estudios que se están llevando a cabo y el uso potencial de los datos y la información que ya están disponibles.

El papel de las empresas es fundamental para recolectar información de primera mano durante las fases de construcción y explotación, sobre la validez de las medidas aplicadas y la eficacia de los sistemas de mitigación y prevención adoptados. Las colisiones y electrocuciones pueden tener consecuencias financieras derivadas de los cortes de energía, de manera que las compañías eléctricas son las primeras interesadas en recopilar y disponer de esa información. Por lo tanto, es de interés de las empresas adoptar las mejores prácticas de mitigación en aras de su reputación, aceptación pública y cumplimiento de las leyes nacionales e internacionales. Poner los resultados de sus informes a disposición de todos los actores implicados, contribuyendo a la **creación de bases de datos nacionales**, es una forma de demostrar su compromiso con la sociedad y la conservación de la naturaleza. Sus datos pueden ser utilizados para publicaciones científicas o en iniciativas de conservación en asociación con organizaciones no gubernamentales (Kettel et al., 2022; Figura 7.24).

La validez de las prácticas para reducir el impacto de las líneas eléctricas en la fauna silvestre debe probarse y determinarse mediante métodos científicos, de manera que corresponde a la ciencia certificar los resultados de los datos recopilados. El problema es que gran parte de la **literatura científica** es de difícil acceso, evaluación o comprensión para las partes interesadas externas. Como resultado, la información no siempre es ampliamente conocida y es posible que las compañías eléctricas o los gobiernos no tengan los recursos para realizar búsquedas bibliográficas exhaustivas

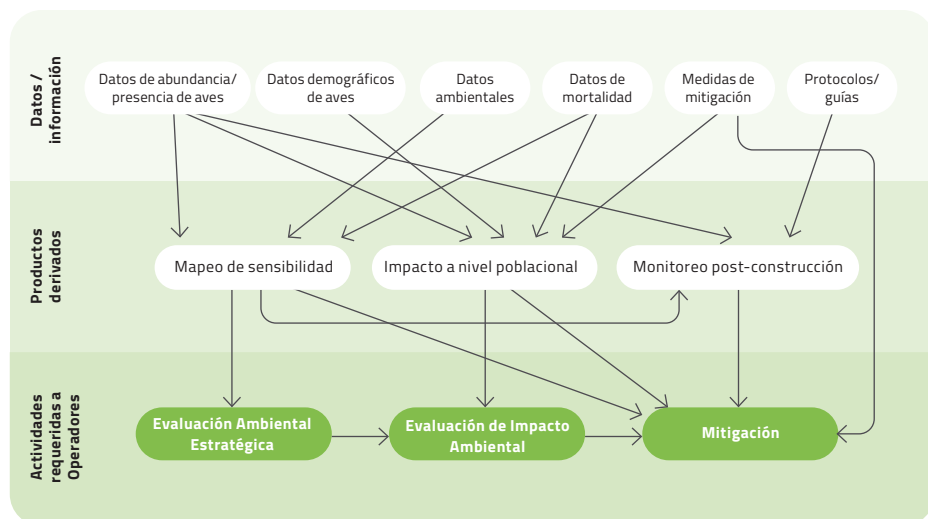


Figura 7.24. Marco conceptual de cómo los datos/información (arriba) informan los productos derivados (centro) y las actividades requeridas por parte de las compañías eléctricas (abajo) (ejemplo para caso de aves). Fuente: adaptado de Kettel et al., 2022; traducción propia.

(Kettel et al., 2022). Es importante que existan mecanismos para la difusión de sus resultados más allá del ámbito científico y que puedan ser compartidos con empresas, autoridades y otros tomadores de decisiones relevantes.

La sociedad civil debe ser también participante en esa labor de recopilación y difusión de la información, tanto a través de las acciones y programas de las ONG conservacionistas, que pueden desarrollarse en colaboración con las compañías eléctricas y los entes gubernamentales, como a través de iniciativas de ciencia ciudadana que propicien la concienciación y colaboración de la ciudadanía en general (Demeter et al., 2018).

Los **entes gubernamentales** son los encargados de recoger la información referente a los espacios naturales y las especies protegidas en el ámbito de sus responsabilidades. En el caso de las líneas eléctricas, deberían contar con medios propios para recabar la información necesaria y para supervisar la eficacia de las medidas. Adicionalmente, deben asumir también el papel de coordinación entre los diferentes actores, establecer mecanismos de colaboración y propiciar acuerdos entre ellos y, en último término, crear y mantener una base de datos integrada que contenga todos los datos disponibles y los resultados de los estudios, que pueda estar disponible para la planificación y gestión de las líneas eléctricas y sus impactos.

8

Planificación estratégica y mitigación de impactos

**Justo Martín Martín¹, José Rafael Garrido López²
y Helena Clavero Sousa³**

¹ *JMM Consultant (consultor independiente)*

² *Agencia de Medio Ambiente y Agua, Consejería de Sostenibilidad
y Medio Ambiente, Junta de Andalucía, España*

³ *Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza –
Centro de Cooperación del Mediterráneo (UICN Med)*



Figura 8.1. La preparación e implementación de planes de acción específicos ayudarán a resolver el problema de las interacciones negativas entre la fauna y las líneas eléctricas. Operarios instalando sistemas antielectrocución, España.
© Justo Martín

8.1. Estrategias y planes de acción para afrontar los impactos de las líneas eléctricas en la fauna silvestre

Dada la amplitud y complejidad del problema del impacto de las líneas eléctricas sobre la fauna, este debe abordarse mediante un enfoque global, integrado y eficaz. Para ello hay que establecer un marco general, una **estrategia**, en la que estén definidos unos objetivos concretos, una visión a medio o largo plazo y las líneas de actuación prioritarias para abordar la problemática.

La estrategia debe contar con **dos grandes objetivos generales**:

- Evaluar y mitigar el impacto de las líneas existentes.
- Establecer las medidas necesarias para que las nuevas líneas sean lo más seguras posibles para la fauna silvestre.



Figura 8.2. Los planes de acción posibilitan la implementación de las medidas de manera sistemática y organizada, concretando los lugares donde enfocarse y detallando los métodos de ejecución y el calendario. Operario instalando desviadores de vuelo en una nueva línea, Colombia. © Darío Correa

La implementación de la estrategia se realiza a través de **planes de acción**, que traducen los objetivos generales en acciones concretas, con cronogramas, entidades responsables de la ejecución, indicadores de monitoreo y evaluación y presupuestos, con metas cuantificables a corto y medio plazo. Los planes de acción posibilitan la implementación de las medidas de manera sistemática y organizada, concretando el tiempo y el espacio y detallando los métodos de ejecución y el calendario (Figura 8.2).

La escala territorial y temporal de un plan de acción y su alcance dependerán de las necesidades y capacidades específicas de cada situación; puede abarcar una especie o varias y operar a escala local, regional, nacional o incluso transnacional. Correspondería a las autoridades administrativas con responsabilidad en materia de medio ambiente, industria, energía y ordenación del territorio el desarrollo del plan o planes de acción correspondientes, en colaboración con las empresas eléctricas y la sociedad civil, a través de las ONG involucradas en la conservación de la naturaleza y con el asesoramiento de expertos.

Un plan de acción para abordar de manera global la problemática de las interacciones de las líneas eléctricas con la fauna silvestre debe contener diferentes tipos de medidas, incluyendo al menos las que se presentan a continuación (APLIC & USFWS, 2005; de Antal, 2010; Prinsen et al., 2011a; BirdLife International, 2015; Dwyer et al., 2017; Comisión Europea, 2018; CIBIO, 2020; RGI, 2024):

- Recopilación de información sobre líneas eléctricas, especies sensibles y mortalidad
- Identificación de sitios prioritarios y procesos de planificación
- Establecimiento de un marco jurídico específico

- Establecimiento de mecanismos para la participación de las partes interesadas y la colaboración intersectorial
- Desarrollo de planes de sensibilización y formación

También deben incluirse en los planes aspectos técnicos, como las características de los postes y crucetas, tipo de correcciones a utilizar (diseños, materiales, instalación, etc.), propuestas de acciones de mitigación y compensación, metodologías de estudio y monitoreo, etc.

Este conjunto de medidas debe incluirse no solo en los programas de protección que puedan existir de especies sensibles, también integrarse en los procesos de planificación espacial estratégica y evaluación ambiental, para garantizar que se tengan en cuenta en todas las etapas del desarrollo e implementación de los proyectos, tanto a escala global como para uno en particular, proporcionando una mayor coherencia y sostenibilidad a largo plazo de las medidas.

8.2. Etapas básicas de un plan de acción

Recopilación de la información

El primer paso para abordar el problema de estos impactos en un área específica es conseguir información adecuada y precisa sobre la situación, lo que significa recolectar y compilar datos sobre tres aspectos diferentes:

- Distribución y situación poblacional de las especies sensibles
- Mortalidad detectada por electrocución o colisión
- Características técnicas de las líneas eléctricas existentes (ver capítulo 7)

La información sobre las especies sensibles permite la elaboración de mapas de sensibilidad, identificando las áreas geográficas donde hay que centrar el esfuerzo. Al menos en esas áreas deben implementarse sistemas de monitoreo y registro de

incidentes, especialmente por parte de las compañías eléctricas, para la identificación de las zonas problemáticas donde se concentran o pueden producirse electrocuciones o colisiones, recogiendo, además, información sobre las líneas eléctricas existentes, sobre todo aquellas con características más peligrosas para la fauna (Figura 8.3).

Esta información debe compartirse con las autoridades y la sociedad civil para que puedan colaborar tanto en esa identificación como en la búsqueda de formas efectivas de minimizar el impacto. Las autoridades ambientales, además de participar en la recopilación de datos, deben desempeñar una función de coordinación y supervisión, garantizando que la información se recoja correctamente mediante procedimientos estandarizados. Solo de esta forma, esa información recolectada en diferentes lugares y momentos por diferentes participantes puede ser comparada apropiadamente y evaluada de manera conjunta.

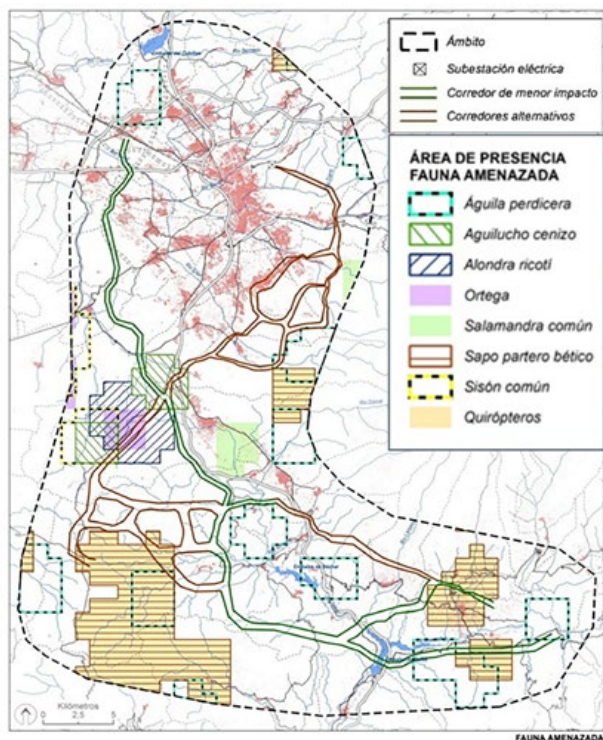


Figura 8.3. El objetivo final de un plan de acción es establecer una red eléctrica con el menor impacto posible sobre las especies sensibles del lugar donde se implemente, y la recopilación de datos de campo es el primer paso hacia este fin. Evaluación de posibles corredores para una nueva línea eléctrica en función de las zonas de presencia de especies sensibles. © Redeia

Creación de un registro general

Para facilitar la gestión y potenciar la utilidad de la información recopilada, se debe crear un registro general nacional o regional centralizado que compile las líneas eléctricas peligrosas o potencialmente peligrosas para las aves u otros grupos susceptibles que se encuentren en el territorio, así como los incidentes mortales registrados. El registro debe elaborarse a partir de los datos recopilados sobre el terreno y del conocimiento de los soportes y líneas que presentan un alto riesgo de electrocución o colisión (los ubicados en zonas de uso intensivo de especies sensibles, los soportes y tramos de líneas que han causado víctimas mortales y los soportes con configuraciones peligrosas). El registro será así la fuente de información sobre dónde tienen lugar o podrían darse los mayores impactos, priorizando en ellos la implementación de medidas de mitigación y prevención. También permitirá que los planes de construcción de nuevas líneas eléctricas tengan en cuenta las lecciones aprendidas de las líneas existentes.

Monitoreo de la eficacia de las medidas

En conjunto con los sistemas de monitoreo de incidentes, en las líneas donde se hayan implementado medidas preventivas y/o correctoras o mitigadoras, las compañías eléctricas deben establecer mecanismos tanto para verificar que las medidas se han implementado adecuadamente como para monitorear periódicamente su estado y efectividad, utilizando procedimientos estandarizados que permitan detectar y corregir cualquier deterioro (ver sección 7.5). Estas inspecciones podrían tener también fines de investigación e información, por ejemplo, para comprobar la durabilidad de los materiales en diferentes condiciones climáticas (ver secciones 4.6 y 5.6) y establecer de manera científica su eficacia real. Cualquier dispositivo que demuestre falta de funcionalidad debe ser reemplazado lo antes posible. Las revisiones de las medidas de prevención y mitigación instaladas deben realizarse a la vez que las inspecciones técnicas del estado y seguridad de la propia línea eléctrica, con la periodicidad que tenga establecida la normativa vigente en cada caso. Estas inspecciones técnicas deberán garantizar la realización de la preceptiva rehabilitación de aquellos soportes o líneas en los que se hayan registrado electrocuciones o colisiones.

Además de este trabajo realizado por las compañías eléctricas para cumplir con las regulaciones y cumplir con sus criterios de calidad, trabajos similares de monitoreo e inspección también podrían ser realizados por técnicos gubernamentales especializados (Figura 8.4).



Figura 8.4. Los técnicos y trabajadores de las empresas eléctricas deben recibir formación sobre los procedimientos adecuados para inspeccionar las medidas preventivas y de mitigación, así como para supervisar su eficacia. Revisión del estado de medidas antielectrocución, Andalucía, España. © Justo Martín

Difusión de la información

Estas evaluaciones y estudios deberían difundirse (al menos las partes esenciales de mayor interés) para que las conclusiones sobre la eficacia de las medidas, positivas o negativas, sean accesibles y públicas, contribuyendo a la creación de un conjunto de conocimientos comunes para todas las partes interesadas (ver sección 7.7). Aunque los resultados puedan dar pie a publicaciones científicas en revistas revisadas por pares, lo ideal es que se difundan también en plataformas en línea de libre acceso, como hace la entidad *Renewables Grid Initiative* (RGI) en su web <https://renewables-grid.eu/>.



Figura 8.5. Toda la red de IBA debe considerarse prioritaria para la aplicación de medidas preventivas, de adecuación y/o mitigadoras para reducir el impacto de las líneas eléctricas sobre las aves. Pareja de zopilotes negros (*Coragyps atratus*) en la IBA Laguna de Sonso, Colombia. Por Gregoire Dubois vía Flickr. CC BY-NC-SA 2.0

8.3. Lugares prioritarios y procesos de planificación

El análisis de los datos recogidos en el registro de líneas eléctricas peligrosas, junto con la información sobre la presencia de especies sensibles y la existencia de áreas importantes para estas especies o áreas protegidas, entre otros factores, permite identificar y delimitar áreas sensibles y áreas de riesgo, así como establecer zonas prioritarias de estudio y/o actuación (ver las secciones 7.2 a 7.4).

Los mapas de sensibilidad y riesgo son una importante herramienta de apoyo a la toma de decisiones para los desarrolladores de proyectos, autoridades y financiadores. Pueden realizarse para todo el territorio (nacional o regional) o centrarse en las zonas de mayor importancia para las especies objetivo. El punto de partida de esos mapas deben ser las áreas naturales protegidas en la legislación

nacional o regional. También deben incluirse las Áreas Importantes para las Aves (IBA, por sus siglas en inglés, *Important Bird Areas*) que cumplan con los criterios de BirdLife International, específicamente para las aves (Donald et al., 2019), y las Áreas Clave para la Biodiversidad (KBA; UICN, 2016), para los vertebrados de interés para la conservación (Figura 8.5).

Estos mapas **deben consultarse al inicio del proceso de planificación para identificar las áreas donde deberían evitarse nuevas líneas aéreas**, priorizando las líneas subterráneas o, al menos, priorizar diseños seguros para la fauna e instalación de dispositivos de mitigación adecuados en las líneas a instalar. La misma información también puede utilizarse para el caso de infraestructuras energéticas como parques solares fotovoltaicos o parques eólicos. **La aplicación de esta cartografía no puede sustituir la evaluación ambiental estratégica (EAE) o la evaluación de impacto ambiental (EIA), pero las complementa** (Figura 8.6).

La cartografía de sensibilidad posibilita una mejor toma de decisiones por parte de los responsables políticos, facilitando la participación de los diferentes actores involucrados en la planificación energética, lo que mejora la calidad, legitimidad y, por lo general, también la aceptabilidad de las decisiones. En definitiva, permiten planificar de manera anticipatoria, integradora e inclusiva (Penca et al., 2025).

Los **mapas de sensibilidad**, en función de la cantidad de información que manejen y el grado de detalle de la misma, pueden ser muy complejos. Al menos deberían mostrar **dos categorías de áreas**:

- **Áreas principales:** áreas en las que es aconsejable evitar la instalación de líneas eléctricas; si esto no es posible, se debe considerar la instalación de líneas subterráneas o líneas con cables aislados, en el caso de las de media y baja tensión. Si los cables aéreos son la única opción viable, estas áreas pasarían a considerarse secundarias.
- **Áreas secundarias:** áreas donde pueden instalarse nuevas líneas eléctricas evitando que su trazado atravesase zonas importantes para las especies sensibles y sus hábitats, aunque discurran en sus proximidades. En estas zonas, las líneas deben construirse con postes con diseños de cruceta seguros y provistos de medidas anticolidión, al menos en los tramos que puedan ser más peligrosos. En la medida de lo posible, los trazados deben evitar rutas cercanas a puntos de concentración o presencia de avifauna sensible (humedales, ríos, bosques, praderas, estepas), así como de crestas, colinas, roquedos y sus alrededores.



Figura 8.6. Mapa de sensibilidad ambiental elaborado por el Gobierno español para identificar las zonas del territorio más sensibles en el caso de nuevos proyectos de energía solar y eólica. Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.

La planificación de toda nueva línea eléctrica debe seguir la identificación de recorridos adecuados basados en criterios técnicos, económicos, sociales y ecológicos, teniendo en cuenta la presencia de áreas sensibles, de riesgo y/o prioritarias previamente identificadas, así como los factores que determinan la existencia de incidentes de la fauna con las líneas eléctricas.

Esa etapa de planificación debe servir para **seleccionar, siguiendo la jerarquía de mitigación, el trazado y diseño con menor afección y los mejores sistemas disponibles** que permitan evitar, minimizar y mitigar los impactos esperados, incorporando medidas compensatorias cuando sea necesario, con el fin de lograr el objetivo final de no pérdida de biodiversidad (White et al., 2024; ver Tabla 8-1 y, como ejemplo, <https://www.ree.es/es/sostenibilidad/integracion-territorio/disenio-trazado>).

La cartografía creada para la planificación también puede utilizarse para identificar cuáles son las **zonas de mayor interés para compensar los impactos de las líneas existentes**, enfocando en ellas los recursos e inversiones que se dispongan a tal fin.

Tabla 8-1. Ejemplos de medidas para evitar o reducir los impactos ambientales de las nuevas líneas eléctricas.

> Si es técnicamente posible, instalar nuevas líneas sobre las existentes, creando líneas de doble circuito.
> Intentar construir las nuevas líneas cerca de las rutas de transporte (carreteras, caminos, líneas ferroviarias, otras líneas eléctricas), creando corredores de infraestructuras.
> Evitar rutas que transcurran a lo largo de cumbres, crestas, puntos dominantes, cruces de valles fluviales, costas o corredores migratorios ("cuellos de botella"), o cerca de zonas rocosas, ya sean aisladas o en zonas montañosas.
> Evitar áreas donde las aves se congregan de manera regular, temporal o estacional (vertederos, algunas áreas agrícolas, etc.) y dormitorios comunitarios.
> Durante el periodo de reproducción, tratar de evitar realizar trabajos de mantenimiento en líneas eléctricas que tengan nidos sobre soportes o que se encuentren cerca de nidos o lugares de reproducción utilizados por especies prioritarias.
> En los estudios de impacto ambiental, las medidas de restauración y compensación (medidas que compensan los impactos ambientales que son inevitables o demasiado costosos de evitar, una vez que se han tomado todas las medidas de evitación y mitigación) deben estar destinadas principalmente a la mejora del hábitat de las especies sensibles (refugios para pequeños vertebrados, cajas nido para aves pequeñas y medianas, mejoras en la vegetación, etc.).

Fuente: elaboración propia

La planificación de toda nueva línea eléctrica debe seguir la identificación de recorridos adecuados basados en criterios técnicos, económicos, sociales y ecológicos

8.4. Marco jurídico específico y acuerdos con compañías eléctricas

La mejor garantía para que las líneas eléctricas sean seguras para la vida silvestre es establecer un **marco legal específico y apropiado a nivel nacional o regional que incluya al menos los siguientes aspectos:**

- Considerar las interacciones entre las líneas eléctricas y la fauna como un factor que puede influir en la operatividad de la red, poniendo en riesgo las infraestructuras y el propio suministro de energía.
- Señalar como un problema general de conservación de la naturaleza los posibles impactos negativos de las líneas eléctricas sobre la fauna, siendo necesaria la adopción de medidas preventivas y mitigadoras específicas a nivel global.
- Establecer para las líneas eléctricas nuevas la obligación de instalarse con diseños y configuraciones contrastadas seguras para la fauna, además de los dispositivos antielectrocución y/o anticolidión necesarios para alcanzar un mayor nivel de seguridad.
- Disponer la obligación de identificar las líneas eléctricas peligrosas existentes para corregirlas con los sistemas y dispositivos que hayan demostrado ser más eficaces y duraderos (ver apéndices A y C); debería especificarse un plazo máximo razonable, lo más corto posible, para esa identificación y el comienzo de la implementación de las medidas correctoras necesarias.
- Incluir los aspectos relativos a la protección de las especies sensibles en la normativa sectorial industrial referente a las líneas eléctricas, de manera que en los protocolos de inspección se consideren al mismo nivel que los aspectos técnicos de seguridad y otras particularidades de protección ambiental; la no adopción, la mala aplicación o el mal mantenimiento de las medidas antielectrocución y anticolidión podrían incluso constituir motivo de infracciones y sanciones derivadas de la normativa industrial para el titular de la línea eléctrica.
- Adoptar como mecanismo básico de financiación de las medidas preventivas, correctoras y compensatorias el principio de “quien contamina paga”, de



Figura 8.7. Lo ideal es que el desarrollo de nuevas redes eléctricas esté regulado legalmente, de modo que se adopten las rutas y los diseños más seguros posibles para la fauna junto con el resto de medidas para reducir el impacto ambiental. Líneas de transmisión en El Chocón, Argentina. Por Simona Cerrato vía Wikimedia Commons. CC BY-SA 3.0

manera que los costos de su implementación recaigan principalmente en las compañías eléctricas, sin menoscabo de otros mecanismos de financiación que puedan disponerse a tal fin (proyectos nacionales e internacionales de conservación, aplicación de medidas compensatorias de proyectos de grandes infraestructuras, etc.).

Los gobiernos que operan redes y/u otorgan permisos para su desarrollo deben elaborar estos marcos y medidas regulatorias en colaboración con las compañías eléctricas, contando además con la participación de asesores expertos y todas las demás partes interesadas. **Un marco regulatorio de este tipo sería sin duda uno de los pilares fundamentales de un plan de acción, pero no es imprescindible.** Bastaría con establecer acuerdos entre las autoridades gubernamentales y las compañías eléctricas para instaurar protocolos de trabajo y actuación que incluyan el contenido básico de esos puntos, junto con un compromiso firme de todos los actores para su cumplimiento (Figura 8.7).

Los planes de acción y las medidas implementadas deben tener en cuenta, además de la legislación nacional existente, las obligaciones regionales y globales de los países signatarios derivadas de **acuerdos y tratados internacionales** que abordan la conservación de la vida silvestre o el impacto del sector energético en la biodiversidad, como por ejemplo la Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB) o la Convención sobre Especies Migratorias (CMS).

8.5. Colaboración intersectorial y participación de los actores interesados

En general, la naturaleza compleja y multifacética del sector energético, con implicaciones económicas, sociales y ambientales de todo tipo que involucran a diversas partes y agentes, determina que los diferentes procesos de planificación que inciden y son afectados por su desarrollo se realicen con una escasa o ausente coordinación intersectorial (Fischer et al., 2020).

En el caso concreto de la planificación y desarrollo de las redes eléctricas, **el establecimiento de mecanismos de colaboración y cooperación intersectoriales que involucren a las diversas autoridades pertinentes y a las compañías eléctricas puede fomentar una gestión de la infraestructura energética eficiente y respetuosa con el medio ambiente.** En este sentido, también es muy importante la participación de otras partes interesadas en los proyectos de desarrollo y operación de la red eléctrica. Para garantizar una participación y cooperación efectivas, el intercambio de información ambiental y la **consulta con las partes interesadas** son esenciales tanto en las fases de planificación como de operación (ver sección 7.8).

Una forma de facilitar las comunicaciones y la coordinación de esfuerzos entre todas las partes es la **creación de comités nacionales** de líneas eléctricas que incluyan miembros de las autoridades pertinentes y de las compañías eléctricas, así como expertos técnicos, científicos y representantes de la sociedad civil. La función principal de estos comités es optimizar los esfuerzos destinados a reducir los impactos, asegurar la coherencia entre las acciones actuales y futuras y establecer prioridades de implementación.

Una de las acciones fruto de esta colaboración es la elaboración de **directrices técnicas claras, basadas en criterios científicos, acerca de las mejores metodologías y sistemas para evitar o reducir el impacto** de las líneas eléctricas sobre la fauna silvestre. Estas directrices tienen que ser asumidas por todas las partes. Su trabajo también debe incluir la difusión de estudios y resultados, así como el **intercambio de experiencias** entre diferentes regiones de un país o entre diferentes países. Idealmente, los comités nacionales deberían ser patrocinados y financiados

por las compañías eléctricas como una forma de compensar algunos de los efectos adversos de las líneas eléctricas.

Estos comités o entidades similares ya funcionan en muchos países del mundo. En Estados Unidos, por ejemplo, existe el Comité de Interacciones entre las Aves y las Líneas Eléctricas (*Avian Power Line Interaction Committee* –APLIC–), fundado en 1989, en el cual colaboran compañías eléctricas, tanto públicas como privadas (que configuran la membresía), agencias gubernamentales (como el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los EE. UU.), ONG y expertos. Desarrolla directrices, materiales y estudios para reducir la electrocución y colisión de aves con líneas eléctricas y mejorar la fiabilidad del suministro energético (<https://www.aplic.org/>; Figura 8.8).

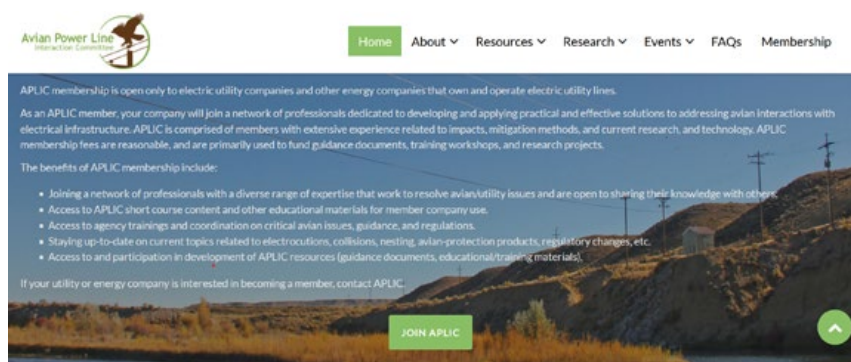


Figura 8.8. En Estados Unidos, el Comité de Interacciones entre las Aves y las Líneas Eléctricas (*Avian Power Line Interaction Committee* –APLIC–) funciona como una iniciativa colaborativa para abordar la mortalidad de aves asociada a las líneas eléctricas. En su página web (en la imagen), se pueden encontrar directrices técnicas o materiales de formación, entre otros. © 2026 APLIC

En Sudáfrica se estableció la Alianza Estratégica Eskom-EWT (*Eskom-EWT Strategic Partnership*, en inglés) en 1996 entre el *Endangered Wildlife Trust* (EWT, la ONG nacional de conservación) y la compañía eléctrica estatal Eskom, con el objetivo de minimizar las interacciones negativas entre la vida silvestre y la red eléctrica del país mediante el análisis de incidentes y la realización de trabajos correctivos y preventivos en la infraestructura (EWT, 2020).

En Francia existe desde 2004 un comité de este tipo, el *Comité National Avifaune* (CNA), que reúne a los principales gestores de redes eléctricas del país junto con

organizaciones conservacionistas (<https://www.lpo.fr/la-lpo-en-actions/developpement-durable/energie/lignes-electriques/ressources-du-cna/ressources-du-cna>). Otros países que cuentan con entidades nacionales o sistemas de colaboración similares son Irán, Alemania o Suecia.

A nivel internacional existen también algunas asociaciones de compañías eléctricas que, sin ser su objetivo principal, desarrollan estrategias para minimizar el impacto de las líneas eléctricas en la naturaleza. Una de las más importantes es CIGRE (en francés *Conseil International des Grands Réseaux Electriques*, el Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas), organización mundial no gubernamental y no lucrativa, fundada en Francia en 1921, que tiene por objetivo facilitar y desarrollar el intercambio de conocimientos técnicos entre todos los países en el campo de la producción y el transporte de energía eléctrica en alta tensión (Figura 8.9). Esta organización agrupa a empresas eléctricas, fabricantes de bienes de equipo eléctrico, ingenierías, universidades y centros de investigación de todo el mundo, constituyendo, probablemente, el foro técnico de discusión y de investigación de dichos temas más importante a nivel mundial. CIGRE tiene 61 Comités Nacionales, que abarcan más de 90 países, 17.500 miembros y 1.250 organizaciones. Dentro de CIGRE, los comités nacionales se organizan en regiones para favorecer la cooperación técnica entre los países, existiendo la Región Iberoamericana de CIGRE (CIGRE RIAC), constituida por los respectivos comités de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, Paraguay, Perú, Portugal y España (<https://cigre-riac.org/>).



Figura 8.9. CIGRE es una organización mundial no gubernamental y no lucrativa que tiene por objetivo facilitar y desarrollar el intercambio de conocimientos técnicos entre todos los países en el campo de la producción y el transporte de energía eléctrica en alta tensión. Existe un comité regional para Iberoamérica compuesto por los comités nacionales de varios países latinoamericanos, incluyendo a Portugal y España. © CIGRE RIAC

8.6. Sensibilización y formación

Un paso importante en el desarrollo de cualquier plan de acción es evaluar la capacidad de los diversos sectores directamente involucrados para implementar las medidas de manera efectiva. Si se identifican lagunas o necesidades en experiencia, capacidad, habilidades o conocimientos, el plan debe incluir iniciativas para diseñar e implementar actividades de sensibilización y capacitación para todas las partes interesadas que puedan participar. Estas acciones deben tener calendarios y contenidos definidos y actualizarse periódicamente.

Formación en el sector público

Como en otras líneas de acción, **las autoridades ambientales deberían destinar personal técnico a tiempo completo y especialmente capacitado** para abordar la problemática de las electrocuciones y colisiones de fauna, combinando conocimientos técnicos de líneas eléctricas con experiencia científica en la biología de aves y otra fauna sensible (Figura 8.10).

La formación en este tema debería extenderse a **otros funcionarios que trabajan en el ámbito ambiental o en áreas asociadas**, como guardas forestales, ingenieros y abogados, elaborando planes de formación específicos de acuerdo con sus responsabilidades y prácticas laborales. Es importante, por ejemplo, que los agentes



Figura 8.10. Sensibilizar y formar a las autoridades ambientales y a los técnicos de las compañías eléctricas sobre la problemática y las soluciones es una prioridad para asegurar el éxito de las medidas a implementar. Taller de formación organizado por UICN Med en Marruecos, 2016. © Justo Martín

medioambientales o guardabosques sepan cómo proceder en caso de electrocución o colisión y cómo recopilar datos sobre el incidente. Asimismo, el personal técnico a cargo de revisar las evaluaciones ambientales de nuevos proyectos de líneas eléctricas debe ser consciente de sus impactos potenciales y ver si estos temas se abordan adecuadamente en la evaluación. También es importante la formación específica para legisladores, jueces y fiscales que puedan necesitarla en el desarrollo de sus competencias.

Formación de técnicos y trabajadores de las empresas eléctricas

Todos los **profesionales que trabajan en el diseño, montaje y mantenimiento de líneas eléctricas deben recibir capacitación específica** sobre problemas que involucran a la vida silvestre. Sus programas de capacitación deben garantizar que comprendan los problemas, los diversos tipos de medidas preventivas y de mitigación, la efectividad de estas medidas, las mejores prácticas en cuanto a uso e instalación y cómo recopilar los datos relevantes al inspeccionar las líneas. Además de **garantizar que los dispositivos estén correctamente instalados y cumplan con su papel protector de la fauna**, esta formación también tiene beneficios en términos del **monitoreo** del estado de la propia red. Gracias a ella, los técnicos pueden identificar los riesgos de incidentes con la fauna que puedan afectar al suministro y el origen de las incidencias originadas por esta causa, así como las mejores medidas preventivas y correctoras a aplicar en cada caso.

Las autoridades ambientales deberían destinar personal técnico a tiempo completo y especialmente capacitado para abordar la problemática de las electrocuciones y colisiones de fauna

8.7. Integración en la planificación espacial y en las políticas y estrategias generales de conservación

La integración de las directrices presentadas en este manual, como ocurre en general con otras directrices de carácter ambiental, puede darse principalmente a través de dos escalas intrínsecamente vinculadas: a nivel de planificación estratégica del desarrollo y despliegue de infraestructura de distribución y transmisión de electricidad (también teniéndola en cuenta como infraestructura accesoria al despliegue de energías renovables) y a nivel de proyectos concretos de desarrollo de líneas eléctricas.

Lo ideal es que una **planificación estratégica adecuada**, que haya incorporado al análisis los elementos para minimizar los impactos del desarrollo de infraestructuras, incluidos los impactos acumulativos que puedan producirse por varios proyectos conjuntamente, y dirigida generalmente por los gobiernos nacionales, **proporcione el marco para la toma de decisiones a nivel de proyecto**, por parte de los promotores, financiadores y autoridades competentes en los permisos. Como parte de ello, los gobiernos pueden establecer principios rectores, directrices y normas mínimas, incluidos los requisitos para asegurar la participación de las partes interesadas, las especificaciones técnicas para asegurar la minimización y prevención de impactos y el monitoreo ambiental. Las evaluaciones de impacto ambiental (EIA) a nivel de proyecto ayudarán a asegurar el cumplimiento de esas normas y a establecer las medidas específicas adecuadas a cada contexto. En ambos niveles, la jerarquía de mitigación proporciona un marco lógico para hacer frente a los impactos negativos (directos, indirectos y acumulativos) de los proyectos en la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (ver sección 8.8).

Prevenir y minimizar el impacto de las líneas eléctricas, y del desarrollo energético en general sobre la vida silvestre, debe ser un objetivo incluido y alineado tanto en las **políticas sectoriales, como la energía y la planificación espacial, como en las estrategias y objetivos ambientales generales y de sostenibilidad**. Estas políticas se diseñan a partir de **evaluaciones ambientales estratégicas** (EAE), que deben identificar posibles riesgos e impactos a gran escala y a largo plazo sobre



Figura 8.11. Una planificación estratégica adecuada incorpora al análisis los elementos para minimizar los impactos del desarrollo de infraestructuras. Línea de distribución con tipología de postes peligrosa para las aves que se posen, Cacayaco, Perú. © Pedro E. Allasi C.

la vida silvestre, la sociedad y la economía, tanto de grandes proyectos individuales como de conjuntos de proyectos más pequeños (ver, por ejemplo, Bennun et al., 2024 o Fehily Timoney, 2024, para más información).

En el caso de la energía eléctrica, los procesos de EAE deben optimizar el uso de la tierra y reducir la huella ambiental y social global de los proyectos de líneas eléctricas, así como los costos de la mitigación de los posibles impactos futuros. Además, deben tener en cuenta el contexto actual de creciente dependencia de la energía renovable para combatir el cambio climático. Las adaptaciones al cambio climático requerirán el desarrollo de energías renovables en lugares adecuados para la producción de electricidad. Estos lugares generalmente no se encuentran en áreas de producción de energía convencional y requieren la instalación de líneas eléctricas en áreas remotas y, a veces, prístinas, como bosques y desiertos (Figura 8.12).

Gobiernos, compañías eléctricas, sectores financieros y el sector energético y ambiental en general, deberían **incorporar en sus políticas y estrategias las medidas para prevenir y minimizar el impacto de las líneas eléctricas** sobre la fauna silvestre, garantizando tanto que se satisfagan las necesidades energéticas como que las especies más sensibles no se vean afectadas, fortaleciendo a la vez la seguridad del suministro (Ngila et al., 2024).

La herramienta más eficaz para alcanzar esos objetivos a nivel de los proyectos individuales son las EIA. Estas son esenciales para identificar el alcance potencial de las amenazas a la vida silvestre a ese nivel y para abordar los riesgos e impactos específicos y proponer las acciones específicas para evitarlos y mitigarlos. En el caso de nuevas líneas eléctricas, son imprescindibles estudios detallados previos que permitan valorar diferentes opciones de trazado, evaluar los diferentes riesgos e impactos y elegir con buenos criterios la mejor opción. También que incorporen la adopción de las mejores medidas preventivas y mitigadoras posibles, así como programas de monitoreo y valoración de esas medidas.

Las autoridades competentes deberían contar con personal técnico capacitado para trabajar en estos procesos y garantizar que los impactos potenciales se incluyan y aborden plena y eficazmente (como ya se mencionó en la sección 8.5). También garantizar mecanismos durante las etapas de desarrollo y evaluación de proyectos para que todas las partes interesadas (comunidades locales, conservacionistas, expertos, investigadores y sociedad civil en general) sean consultadas adecuadamente y participen de manera efectiva. Esto es especialmente



Figura 8.12. El desarrollo de las energías renovables requiere la construcción de nuevas líneas eléctricas. Planta eólica, al fondo de la imagen, con líneas eléctricas asociadas, Brasil. © Álvaro Camiña

importante en las primeras etapas del desarrollo del proyecto para que el conocimiento experto y local pueda incorporarse al proceso de detalle y selección de ruta. Debe observarse el principio del consentimiento libre, previo e informado.

Los gobiernos pueden aprovechar la información ambiental generada por las EIA para mejorar las EAE y deberían promover la accesibilidad de los datos, incluso fuera del propio país, para que puedan alimentar otros análisis estratégicos y aumentar el conjunto de conocimientos sobre los impactos de las líneas eléctricas en la vida silvestre.

Por último, no olvidar que, con una planificación y gestión adecuadas, las líneas eléctricas pueden ofrecer algún tipo de beneficio ambiental. **Tan importante como reducir al máximo sus impactos negativos debería ser promover y potenciar esos posibles beneficios** (D'amico et al., 2018). Como se indicó en la sección 3.4, las líneas eléctricas pueden desempeñar un papel como corredores ecológicos, al menos para algunas especies, especialmente si el terreno por el que discurren se gestiona para mejorar los hábitats, agregar sitios de anidación seguros, etc. Por lo tanto, estas posibilidades deben incorporarse en los proyectos de líneas eléctricas.



Figura 8.13. Un estudio de referencia detallado, previo a la construcción, es una parte esencial de una EIA para detectar la presencia y el estado de especies sensibles, como puede ser el cóndor andino. © Félix Romera

Existen algunos ejemplos de experiencias sobre cómo se pueden utilizar dichas áreas para mejorar el hábitat de manera que se favorezcan a ciertas especies. Entre ellas destaca el proyecto LIFE de la Unión Europea “Elia-RTE-Creación de corredores verdes bajo líneas aéreas” (2011-2017), que se desarrolló con el objetivo de crear corredores verdes bajo líneas eléctricas aéreas en zonas boscosas de Bélgica y Francia. Se llevaron a cabo varias acciones innovadoras para mejorar la biodiversidad y sensibilizar a la gente sobre los hábitats naturales y las especies asociadas a dichos corredores y fue un ejemplo de trabajo conjunto entre varios actores. Más información y documentos están disponibles en: www.vida-elia.eu.

8.8. La jerarquía de la mitigación como marco general de conservación de la biodiversidad

El marco general de la planificación estratégica ambiental y la evaluación ambiental debe ser la aplicación de la jerarquía de la mitigación, (IFC, 2012), cuyo objetivo es conseguir la No Pérdida Neta (NNL, por sus siglas en inglés) o incluso de ganancia neta de biodiversidad, también conocidos respectivamente como objetivos de impacto neutro o positivo, en relación con una línea base predeterminada (Maron et al., 2018; Arlidge et al., 2018).

Desde una perspectiva de biodiversidad, la **jerarquía de mitigación** es una herramienta clave para la planificación espacial, aplicable a proyectos de cualquier sector, incluidas las líneas eléctricas y las energías renovables (Bennun et al., 2021 y 2025; CSBI y TBC, 2015). **Este marco comprende cuatro acciones generales que deben implementarse de forma secuencial e iterativa: (1) evitar, (2) minimizar, (3) restaurar/remediar y (4) compensar.** El primer paso consiste en evitar los impactos sobre la biodiversidad, como evaluar riesgos potenciales antes del diseño del proyecto y seleccionar un sitio alternativo para el desarrollo (Phalan et al., 2018). El segundo paso de la jerarquía requiere que, antes y durante el desarrollo, se minimicen los impactos, por ejemplo, utilizando métodos de construcción más respetuosos con el medio ambiente. El tercer paso exige que la pérdida de biodiversidad se remedie dentro del área de intervención del proyecto, lo cual puede implicar acciones como resembrar terrenos afectados o desarrollar programas de reproducción para las especies impactadas durante y después de la finalización del proyecto. El cuarto y último paso requiere que los impactos residuales no abordados por los tres primeros pasos se compensen en otros lugares, como mediante la restauración de humedales o la eliminación de especies invasoras en áreas ecológicamente importantes (Gardner et al., 2013).

Los cuatro pasos de la jerarquía de mitigación representan categorías generales de reducción y compensación del impacto sobre la biodiversidad, lo que significa que la mayoría de las acciones de conservación pueden clasificarse dentro de estos pasos. En la Tabla 8-2 se muestra un esquema básico de cómo sería un plan general de acción para reducir el impacto de las líneas eléctricas aplicando los principios de la jerarquía de mitigación.

Tabla 8-2. Esquema básico de un plan general de acción para prevenir, minimizar o compensar el impacto de las líneas eléctricas aplicando la jerarquía de mitigación.

A. Diagnóstico y evaluación inicial

- **OBJETIVO:** Identificar y caracterizar los impactos potenciales sobre la biodiversidad asociados a los tendidos eléctricos.
- **ACCIONES:**
 - Realizar estudios de línea base sobre biodiversidad (fauna, flora, corredores ecológicos).
 - Identificar especies sensibles
 - Identificar zonas sensibles (áreas protegidas, rutas migratorias, hábitats críticos).
 - Mapear impactos acumulativos de otros proyectos energéticos en la región/zona.

B. Aplicación del enfoque de la jerarquía de mitigación

1. EVITAR

- **OBJETIVO:** Prevenir impactos antes de que ocurran mediante una planificación estratégica.
- **ACCIONES:**
 - Utilizar planificación territorial y SIG (Sistemas de Información Geográfica) para excluir zonas de alta biodiversidad.
 - Seleccionar rutas de trazado alternativas que eviten hábitats sensibles.
 - Priorizar corredores ya fragmentados o zonas antropizadas.
 - Evaluar el soterramiento de tramos especialmente sensibles.

2. MINIMIZAR

- **OBJETIVO:** Reducir la magnitud de los impactos que no pueden evitarse.
- **ACCIONES:**
 - Seleccionar diseños de postes que reduzcan el riesgo de electrocución (uso de cables aislados, aplicar distancias de seguridad, incorporar dispositivos aislantes en apoyos muy peligrosos, etc.).
 - Instalar balizas anticollisión en tramos identificados como de alto riesgo.
 - Instalar sistemas antiescalada para especies trepadoras/de hábitos arbóricolas.
 - Instalar pasos elevados para la fauna que eviten el uso de la línea eléctrica.
 - Instaurar calendario de construcción que evite épocas reproductivas o migratorias clave.
 - Limitar al mínimo la franja de servidumbre, aplicar podas selectivas.

3. REMEDIAR/RESTAURAR/RECUPERAR

- **OBJETIVO:** Controlar o reparar los efectos negativos durante la implementación.
- **ACCIONES:**
 - Restaurar la vegetación afectada durante la instalación de torres y accesos.
 - Establecer programas de monitoreo continuo posconstrucción para evaluar efectividad de medidas.

4. COMPENSAR

- **OBJETIVO:** Compensar impactos residuales significativos aplicando el enfoque de "no pérdida neta" o "ganancia neta" de biodiversidad.

continúa >

• **ACCIONES:**

- Adecuar líneas eléctricas peligrosas en zonas próximas que puedan afectar a las mismas especies sensibles.
- Facilitar el uso seguro de la infraestructura por parte de la fauna (instalación de nidales, plataformas de nidificación, refugios para vertebrados terrestres, etc.).
- Implementar proyectos de conservación fuera del área de influencia directa del proyecto (por ejemplo, protección de hábitats equivalentes a través de acuerdos de colaboración con propietarios).
- Financiar programas de conservación/manejo de especies afectadas.

C. Gobernanza y monitoreo

- **OBJETIVO:** Aplicar sistemas de gestión y evaluación conjunta que permitan valorar adecuadamente la eficacia de las medidas adoptadas y, en su caso, establecer las modificaciones necesarias.

• **ACCIONES:**

- Establecer un sistema de seguimiento ambiental continuo con indicadores específicos (mortalidad de fauna, regeneración de hábitats, uso de pasos de fauna).
- Tener un plan de acción adaptativo, con umbrales de acción definidos para implementar medidas correctoras o mitigadoras si los impactos superan los valores previstos.
- Fortalecer la coordinación interinstitucional (autoridades ambientales, empresas eléctricas, comunidades locales), compartiendo los resultados del monitoreo y estableciendo comités de seguimiento para su evaluación y acordar nuevas estrategias.
- Revisión y mejora continua del plan general de acción con base en los resultados del monitoreo.

D. Participación y Comunicación

- **OBJETIVO:** Promover la participación de todos los agentes implicados, garantizando la información y comunicación hacia y entre ellos.

• **ACCIONES:**

- Integrar a comunidades locales, ONG y expertos en biodiversidad en la toma de decisiones.
- Transparencia en los procesos de evaluación y aplicación de medidas de mitigación.
- Educación y sensibilización sobre los impactos y las acciones para minimizarlos.

Fuente: elaboración propia

La jerarquía de mitigación ha sido incorporada en diversos marcos internacionales, como el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), los Estándares de Desempeño de la Corporación Financiera Internacional (*International Finance Corporation* -IFC-) y las directrices del Banco Mundial. Su aplicación contribuye al cumplimiento de metas globales, como el Marco Global de Biodiversidad Kunming-Montreal (2022), y es tomada como referencia en convenios internacionales, como el de Berna, a la hora de promover buenas prácticas (López-García et al., 2025) mediante la aplicación de un enfoque integral que minimiza la pérdida de hábitats y facilita la conservación de la biodiversidad y la restauración ecológica. La jerarquía de mitigación se propone como instrumento esencial para guiar las decisiones en todos los niveles, desde proyectos locales hasta políticas nacionales o internacionales.

9

Casos de estudio en Latinoamérica y España

Este capítulo presenta varios casos de estudio relevantes de diferentes países latinoamericanos, incluyéndose además dos casos de España, todos ellos ilustrativos de la problemática y del trabajo que se realiza en diferentes regiones para armonizar la coexistencia entre fauna y líneas eléctricas. Para conocer más casos de otras partes del mundo puede dirigirse a la obra en inglés *Wildlife and power lines* (Martín Martín et al., 2022).

9.1. Interacciones entre tendidos eléctricos y fauna silvestre en Argentina

José Hernán Sarasola^{1,2}, Beatriz Martínez-Miranzo^{1,3} y Diego Gallego-García^{1,2}

¹ *Centro para el Estudio y Conservación de las Aves Rapaces en Argentina (CECARA), Argentina*

² *Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET), Argentina*

³ *ENARA E.A. S.L., España*

El impacto que tienen las líneas eléctricas sobre la fauna silvestre es un problema de conservación a escala mundial (Biasotto y Kindel, 2018). En regiones como Europa y Norteamérica, el efecto de las colisiones y electrocuciones en tendidos eléctricos sobre las especies silvestres se ha abordado ampliamente durante décadas. Sin embargo, esta problemática ha pasado prácticamente desapercibida en otras partes del mundo, como es el caso de Sudamérica (Lehman et al., 2007; Rebolo-Ifrán et al., 2023). Como resultado, y con puntuales y escasas excepciones, se carece de información y de evaluaciones del impacto que estas infraestructuras tienen sobre las poblaciones de fauna silvestre en esta región (Lehman et al., 2007; Bernardino et al., 2018). Sin dudas, las aves son el grupo de animales más afectado por los tendidos eléctricos; entre ellas, sin embargo, y debido en gran parte a su comportamiento y tamaño, uno de los grupos de especies más afectados es el de las aves rapaces. Sudamérica alberga una gran diversidad de especies de aves rapaces, con casi un tercio del total de especies reconocidas a nivel mundial con distribución en esta región (Sarasola et al., 2018). Sin embargo, los reportes y documentación de incidentes de electrocución de estas aves, y de especies silvestres en general, continúan siendo escasos en esta región y, particularmente, en Argentina.

Situación en Argentina

La red de distribución de energía de media tensión (MT) en Argentina se compone de líneas que transportan tres tensiones eléctricas: 33,2 kV, 13,2 kV y 7,2 kV. Las dos primeras comprenden líneas trifásicas, muy similares entre sí en cuanto a materiales y diseños que emplean, mientras que las últimas corresponden a líneas monofásicas o monofilares de menor voltaje, las cuales se ubican usualmente en los tramos finales de las redes de distribución en áreas rurales y con una reducida extensión. Tanto en unas como en otras, se pueden distinguir los pilares de poste de los de retención. A través de casi todo el país, el tipo constructivo más utilizado en los pilares de apoyo de las líneas de distribución de energía trifásicas es el de pilares de madera u hormigón con crucetas horizontales -de madera o, más recientemente incorporadas, de metal-, con aisladores rígidos verticales y con los cables conductores por encima de ellos (Figura 9.1). Este tipo constructivo es de alto riesgo para las aves dado que la distancia entre las fases es reducida y permite que ellas puedan hacer contacto simultáneo con dos cables conductores y electrocutarse. A su vez, los pilares de hormigón también permiten que las aves -incluso las de menor tamaño- puedan hacer contacto con el cable conductor central y la descarga a tierra a través del pilar, resultando en su electrocución. Finalmente, la utilización de crucetas de metal, particularmente en pilares de hormigón, aumenta aún más el riesgo de electrocución a través del contacto con cualquiera de los cables y la descarga a tierra a través de la cruceta y el pilar.

En los pilares de retención, por otra parte, un elemento que incrementa sustancialmente al riesgo de electrocución de las aves en las líneas eléctricas son los puentes suspendidos por encima de las crucetas. Estos puentes, que involucran al menos una de las tres fases o cables, aumentan la probabilidad de que el ave haga contacto con una fase conductora y la descarga a tierra a través de la cruceta de hormigón, resultando así en su electrocución (Figura 9.2). Aun en las líneas monofásicas, los pilares de retención presentan este puente en la única fase que transportan, resultando así sumamente peligrosos. De hecho, los pilares de retención de líneas monofásicas son los que registran un mayor número relativo de aves electrocutadas de aves por pilar, considerando que no son las líneas o tipos constructivos más abundantes ni frecuentes (Galmes et al., 2018; Sarasola et al., 2020; Gallego-García et al., en prensa).

Si bien no son los más comúnmente empleados, algunas empresas eléctricas locales aplican tipos constructivos que resultan en un menor riesgo de electrocución para las aves, como son los de amarres suspendidos y aisladores colgantes (Figura 9.3). En estos diseños, la configuración y disposición de los cables en las líneas -mayor

distancia entre ellas y ubicados en distintos planos- no permite que hagan contacto con las aves al posarse, resultando en un bajo o nulo riesgo de electrocución para ellas.

Especies afectadas por electrocución

Hasta el momento, se han reportado al menos una decena de especies de aves rapaces diurnas y nocturnas (búhos y lechuzas) afectadas por incidentes de electrocución en tendidos eléctricos en Argentina. El águila mora (*Geranoetus melanolectus*) y el aguilucho común (*Geranoetus polyosoma*) son las dos especies reportadas con mayor frecuencia en incidentes de electrocución, especialmente en zonas áridas o semiáridas del centro del país con escasa presencia de árboles. Otras especies de aves rapaces reportadas electrocutadas en Argentina incluyen al halconcito colorado (*Falco sparverious*), el taguató (*Buteo magnirostris*), el jote cabeza colorada (*Cathartes aura*), el jote cabeza negra (*Coragyps atratus*), el cóndor andino (*Vultur gryphus*) y el águila coronada o del Chaco (*Buteogallus coronatus*) (Sarasola y Zanón-Martínez, 2017; Galmes et al., 2018; Sarasola et al., 2020; Gallego-García et al., en prensa). Esta última es la única especie categorizada como en peligro de extinción para la cual la electrocución en tendidos eléctricos se ha constatado como una amenaza y uno de sus principales factores de mortalidad (Sarasola et al., 2020).

Además de las aves rapaces, otro grupo de aves que se ve particularmente afectado por la electrocución en tendidos eléctricos son los psitácidos (loros y cotorras). Dados sus hábitos sociales y el uso de pilares para la construcción de sus nidos, los incidentes de electrocución pueden involucrar a varios individuos al mismo tiempo, mientras que los nidos suelen combustionar y ocasionar incendios de líneas y cortes de suministro eléctrico. En menor medida, y particularmente en ciudades costeras donde se agregan en gran número debido a la actividad portuaria, se han reportado casos de electrocución de aves marinas que han resultado en cortes de suministro eléctrico en centros urbanos.

En Argentina, los reportes de mamíferos electrocutados son escasos y anecdóticos, involucrando principalmente a primates en la región tropical del país. Sin embargo, también son frecuentes los reportes de felinos medianos como el gato montés (*Leopardus geoffroyi*), con incidentes puntuales en las provincias del centro y sur del país.

Especies afectadas por colisión

Los reportes de colisiones de fauna silvestre con líneas eléctricas son aún más escasos que los de electrocución. Se menciona la colisión de cóndores andinos en Argentina (Plaza y Lambertucci, 2020) y jotes en líneas de transmisión de alta tensión en el centro de Argentina (obs. pers.).

Medidas de mitigación

La mayoría de estos incidentes de electrocución de fauna silvestre en Argentina se han registrado en las líneas trifásicas de distribución de energía, ya que es el tipo constructivo más representado dentro de la red eléctrica en este país. Sin embargo, en términos relativos a la extensión total de la red eléctrica, el número de incidentes de electrocución en las líneas monofásicas o monofilares de 7,2 kV es elevado a pesar de su baja representación, particularmente en los pilares de retención de estas líneas (Galmes et al., 2018; Sarasola et al., 2020; Gallego-García et al., en prensa).

PILARES DE APOYO

Considerando los diseños y tipos constructivos más comunes en las líneas de distribución de energía en Argentina, como son las líneas trifásicas con cables o fases en un mismo plano apoyadas en crucetas horizontales y aisladores rígidos verticales, las medidas de mitigación necesarias para evitar la electrocución aviar en los pilares de apoyo incluyen la implementación de cobertores aisladores (Figura 9.4). Estos se han dispuesto muy localmente y en unos pocos pilares de líneas eléctricas en las provincias de La Pampa y Santa Cruz, en la región patagónica.

Por otra parte, y a pesar de la gran cantidad de información existente en cuanto a la efectividad de medidas de mitigación para evitar la electrocución aviar, algunas administraciones públicas provinciales han dispuesto implementar dispositivos con demostrada ineficiencia para evitar la electrocución aviar. Este es el caso de los llamados posaderos o perchas artificiales que se ubican por encima de las crucetas, los que, en la mayor parte de las ocasiones, son ignorados por las aves (Figura 9.5). A pesar de su comprobada ineficacia, varios centenares de estos posaderos se han establecido en pilares de apoyo en líneas eléctricas de la provincia de La Pampa.

PILARES DE RETENCIÓN

La principal medida implementada activamente en Argentina para evitar la electrocución de fauna silvestre en tendidos eléctricos involucra, principalmente, a los pilares de retención. En estos pilares, los puentes suspendidos por encima de crucetas o plataformas aumentaban considerablemente el riesgo de electrocución de las aves (Galmes et al., 2018; Sarasola et al., 2020; Gallego-García et al., en prensa). Este aspecto constructivo ha sido modificado en pilares puntuales en diversas líneas eléctricas, haciendo transcurrir los conectores por debajo de las crucetas con una mínima inversión, tanto de recursos humanos como de insumos (Figura 9.6). Este tipo de modificación se ha implementado en líneas eléctricas en las provincias de La Pampa y Mendoza. Por otra parte, se ha trasladado también a futuros proyectos de electrificación rural, solicitándose que sean de cumplimiento por las empresas a cargo del establecimiento de nuevas líneas eléctricas en esas provincias. De esta manera, este tipo de consideraciones técnicas sobre los pilares de retención comprenden la primera normativa y regulación oficial del sector público del país, en este caso las administraciones provinciales, con el fin de evitar o reducir el riesgo de electrocución aviar.

Consideraciones finales

La falta de reportes de electrocución de especies silvestres que potencialmente podrían verse afectadas por este factor de mortalidad (como puede ser en el caso de otras especies de aves menos abundantes o estudiadas o incluso otros grupos taxonómicos) se debe probablemente a la falta de estudios a escala local y regional (Rebolo-Ifrán et al., 2023). De la misma manera, y a pesar de las evidencias colectadas en otras regiones del planeta, no se han evaluado en Argentina otros efectos indirectos de las electrocuciones de fauna silvestre, como son los incendios que en ocasiones se generan a partir de los individuos afectados. Las investigaciones futuras sobre las interacciones entre tendidos eléctricos y fauna silvestre en Argentina deberían centrarse en evaluar el riesgo de los distintos tipos constructivos empleados en las líneas eléctricas, así como el impacto que tienen la mortalidad por electrocuciones y colisiones sobre las poblaciones de especies amenazadas y sobre la biodiversidad global de la región.

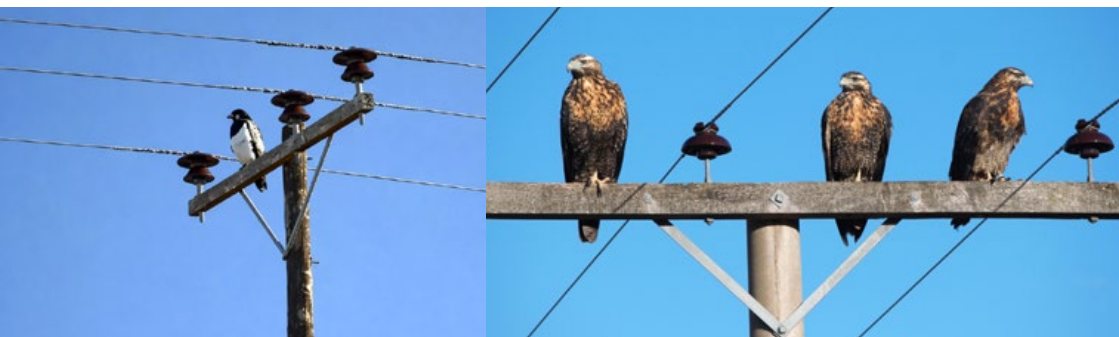


Figura 9.1. En la imagen de la izquierda, un águila mora (*Geranoetus melanoleucus*) en una línea trifásica de 33,2 kV con cruceta y pilar de madera. En la imagen de la derecha, tres ejemplares juveniles de la misma especie posados en la cruceta de madera de una línea de 13,2 kV con pilar de hormigón. Nótese que, a pesar de la diferencia de voltaje, ambos tipos constructivos son muy similares entre sí en cuanto a materiales, medidas y disposición de cables y aisladores, los cuales varían en su tamaño. Este tipo constructivo es el más común y abundante para líneas de distribución de energía de MT en gran parte de Argentina. © José Hernán Sarasola/CECARA

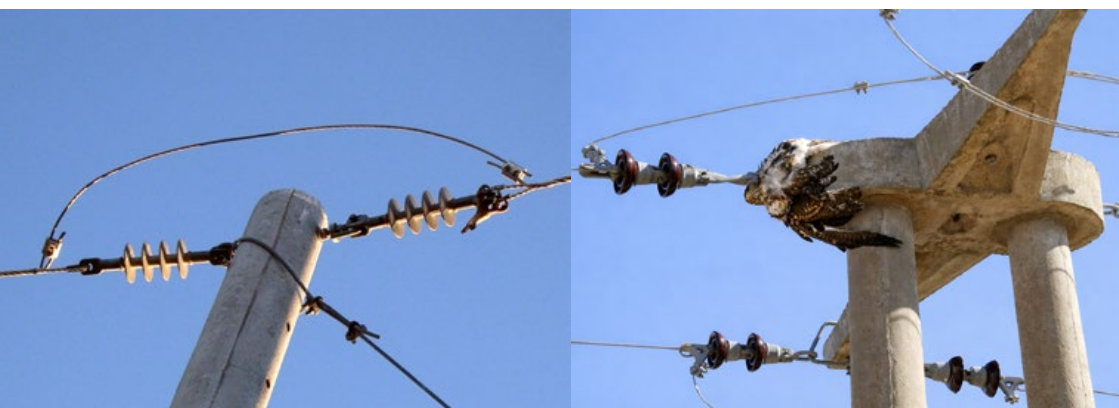


Figura 9.2. Los pilares de retención, tanto en líneas trifásicas como monofásicas, son los que representan un mayor riesgo de electrocución para las aves en Argentina. La disposición de un cable suspendido, bien por encima del ápice del pilar en el caso de las líneas monofásicas (imagen izquierda) o por sobre la plataforma de hormigón en el caso de las líneas trifásicas (imagen derecha), aumenta la posibilidad de contacto con el cable energizado y la descarga a tierra, permitiendo la electrocución del ave. © José Hernán Sarasola/CECARA



Figura 9.3. Dos ejemplos del empleo de líneas de distribución de energía con tipo constructivo de amarres suspendidos en Argentina. En ambos casos se puede observar que la disposición de cables conductores hace imposible el contacto con el ave. A la izquierda un aguilucho común (*Buteo polyosoma*) en la provincia de Mendoza y, en la imagen de la derecha, un individuo de la misma especie posado sobre una cruceta de tipo “canadiense” en Península de Valdez, Chubut. © José Hernán Sarasola/CECARA



Figura 9.4. Implementación de cobertores aisladores en uno de los diseños más comunes en Argentina, como son las líneas trifásicas con cables o fases en un mismo plano apoyadas en crucetas horizontales y aisladores rígidos verticales. © José Hernán Sarasola/CECARA



Figura 9.5. El empleo de posaderos o perchas artificiales es una medida totalmente inútil para evitar la electrocución de las aves en líneas eléctricas. A pesar de la abundante información al respecto, y la evidencia empírica que así lo demuestra, estos posaderos han sido establecidos en decenas de kilómetros de líneas eléctricas en la provincia de La Pampa. © Mauricio Flores/CECARA

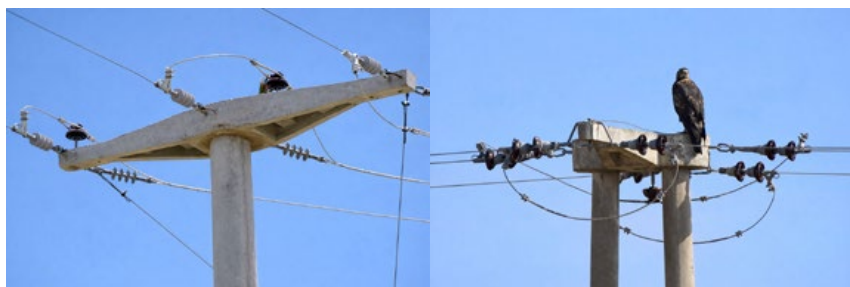


Figura 9.6. En Argentina, los pilares de retención constituyen, en promedio, entre el 3-5% de los pilares de las líneas eléctricas; sin embargo, son los pilares que representan un mayor riesgo de electrocución por la disposición de uno o más puentes por encima de las crucetas (izq.). Las modificaciones implementadas hasta el momento incluyen la disposición de los puentes conectores por debajo de las crucetas (dcha.), evitando así el contacto con las aves y la electrocución a través de la descarga a tierra. © José Hernán Sarasola/CECARA

9.2. Electroclusiones de la fauna brasileña en redes eléctricas

Larissa D. Biasotto¹ y Andreas Kindel²

¹ *BirdLife International, Cambridge, Reino Unido*

² *Núcleo de Ecología de Carreteras y Ferrocarriles, Departamento de Ecología y Programa de Posgrado en Ecología, Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil*

El estudio de las electroclusiones ha sido ampliamente desatendido en las regiones tropicales, especialmente en países donde la expansión de la red eléctrica crece a tasas exponenciales, avanzando sobre áreas remotas y aún conservadas (Guil y Pérez-García, 2022).

En Brasil, a diferencia de las líneas de transmisión (Biasotto et al., 2022), las líneas de distribución (baja y media tensión < 69 kV) no están sujetas a las etapas habituales de licenciamiento ambiental, lo que limita el reconocimiento de posibles impactos ambientales y la aplicación de la jerarquía de mitigación, especialmente de medidas preventivas como la evitación y minimización de impactos. Por lo tanto, la planificación e instalación de medidas depende del criterio de cada órgano ambiental estatal o de la movilización social.

La evaluación para la mitigación enfocada en grupos objetivo o cualquier forma de zonificación, con el fin de identificar trazados de líneas eléctricas de menor impacto, aún es incipiente (Biasotto y Kindel, 2018). Debido al aumento de muertes de primates y aves en varias regiones del país, hay proyectos legislativos en tramitación a nivel municipal, estatal y federal. En ausencia de estos instrumentos, por lo general, la mitigación solo se adopta mediante intervención judicial impulsada por organizaciones de la sociedad civil.

Brasil es uno de los países más biodiversos del mundo, y hasta la fecha no se ha realizado ningún estudio con un diseño de muestreo específico para la recolección de datos sobre electroclusiones. Toda la información disponible consiste en compilaciones de registros, normalmente de múltiples fuentes y sin una noción clara del esfuerzo

realizado, o en relatos anecdóticos disponibles en la literatura científica, gris o en redes sociales (Biasotto et al., 2021). No obstante, el país alberga una gran riqueza de especies, en grupos taxonómicos o funcionales, ya conocidos por ser afectados por electrocuciones en otras regiones, y los pocos datos existentes refuerzan la preocupación sobre las electrocuciones como una amenaza a la persistencia de las poblaciones (Biasotto et al., 2022; Chaves et al., 2022). Por tanto, no hay razones técnicas ni ambientales para sospechar que las electrocuciones ocurran de forma distinta en Brasil; simplemente no están siendo priorizadas desde el punto de vista académico ni normativo.

En lo que respecta a la avifauna, los registros no se limitan solo a rapaces, grupo en el que el estudio de electrocuciones es más frecuente a nivel global. Los psitácidos también son un grupo vulnerable debido a sus características morfológicas (tamaño corporal y envergadura alar) y comportamentales (uso de postes y cables como posaderos para descanso, alimentación y socialización) (Biasotto et al., 2021). A pesar de haber registros de electrocuciones en distintas especies (*Guaruba guarouba*, *Ara chloropterus*, *Ara ararauna*, *Anodorhynchus leari*, *Psittacara leucophthalmus*), el esfuerzo para evaluar, desarrollar e implementar medidas de mitigación específicas para este grupo sigue siendo limitado. Por ejemplo, el guacamayo de Lear (*Anodorhynchus leari*) es un ave endémica del bioma Caatinga del norte del estado de Bahía, clasificada como En Peligro (EN) en la Lista Roja de la UICN (HBW y BirdLife International, 2024). Según registros aportados por la comunidad local que colabora en su conservación, en los últimos años se han contabilizado más de 150 individuos muertos por electrocución (Figura 9.7 D, E, F). Estas muertes recopiladas son solo las reportadas fortuitamente por habitantes locales, representando, por tanto, solo una fracción del total. Incluso sin un monitoreo sistemático ni información sobre el esfuerzo de búsqueda de cadáveres, el número de electrocuciones indica que esta puede ser una fuente significativa de mortalidad para la especie (Biasotto et al., 2023), cuya población reproductiva podría ser inferior a 1 000 parejas (PAN Aves da Caatinga, 2024). Estas aves tienen un sistema de apareamiento monógamo y una alta fidelidad a sus nidos-cavidades (Pacífico, 2020), por lo que la muerte de uno de los miembros de la pareja podría eliminar permanentemente al dúo reproductor.

Además de afectar a las aves, las electrocuciones también suponen una amenaza para los mamíferos arborícolas, grupo para el que los eventos de fatalidad están mejor documentados en Brasil (Corrêa et al., 2018; Lokschin et al., 2007). El mono aullador rojo (*Alouatta guariba*) es un primate endémico y vulnerable de la Mata Atlántica (Oklander et al., 2024), presente en fragmentos forestales aislados inmersos

en paisajes periurbanos y rurales del sur y sureste del país. Según Chaves et al. (2022), las electrocuciones en la red eléctrica son la principal causa de mortalidad de origen antrópico para esta subespecie (Figura 9.7 A, B, C). En la región metropolitana de Porto Alegre, las electrocuciones se documentan desde los años 90, y aunque esfuerzos del proyecto Macacos Urbanos, otras organizaciones, la presión social y acciones judiciales han llevado a la mitigación de algunos postes. Sin embargo, la falta de mantenimiento de postes ya adaptados y la ausencia de un programa continuo de monitoreo y ampliación de medidas hacen que sigan muriendo muchos individuos, incluidas madres con crías (Figura 9.7).

Estos son ejemplos de especies emblemáticas y amenazadas. Las evidencias indican que las electrocuciones, aunque actualmente infradeclaradas, son un problema real que potencialmente afecta a muchas especies en Brasil.

Además de las iniciativas legislativas, los Planes de reducción del impacto sobre la biodiversidad (PRIM) es una iniciativa del Instituto Chico Mendes para la Conservación de la Biodiversidad que busca compatibilizar la protección de la biodiversidad con el desarrollo socioeconómico (<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/plano-de-reducao-de-impactos-sobre-a-biodiversidade>; Pimenta et al., 2023). La propuesta ofrece soluciones espaciales para minimizar interacciones negativas de programas y proyectos de expansión de infraestructuras con especies sensibles. Para 2025 o principios de 2026 está prevista la publicación del plan específico para líneas eléctricas. Estos planes se basan en el proceso de la jerarquía de mitigación de impactos (Arlidge et al., 2018), que establece estrategias sucesivas para primero evitar, minimizar los impactos, restaurar/rehabilitar las áreas afectadas y por último compensar esos impactos. En el caso de las líneas eléctricas, se contempla: (1) la selección de la ubicación del proyecto, (2) la aplicación de medidas de minimización y restauración de impactos, y (3) la destinación de la compensación ambiental. Aunque inicialmente orientado a líneas de transmisión, su enfoque espacial, con múltiples capas de información priorizando áreas de conflicto entre redes eléctricas y biodiversidad, permite su aplicación también a líneas de distribución, donde se concentran los eventos de electrocución. Aunque es fundamental mapear la sensibilidad de especies amenazadas, también deben considerarse aquellas no amenazadas, pero con declive poblacional, madurez sexual tardía o distribución restringida. Por tanto, herramientas como mapas de sensibilidad (por ejemplo, AVISTEP: avistep.birdlife.org) son convenientes y necesarias para mejorar la compatibilidad espacial entre la fauna brasileña y las redes eléctricas.

Estas áreas prioritarias de posible conflicto requerirán atención especial por parte de las empresas concesionarias de energía, instituciones gubernamentales ambientales y reguladoras del sector energético, academia, sociedad civil organizada y el poder judicial, ya sea mediante la aplicación de la legislación de protección de la fauna (por ejemplo, el artículo 225 de la Constitución brasileña) o de leyes específicas en discusión parlamentaria.

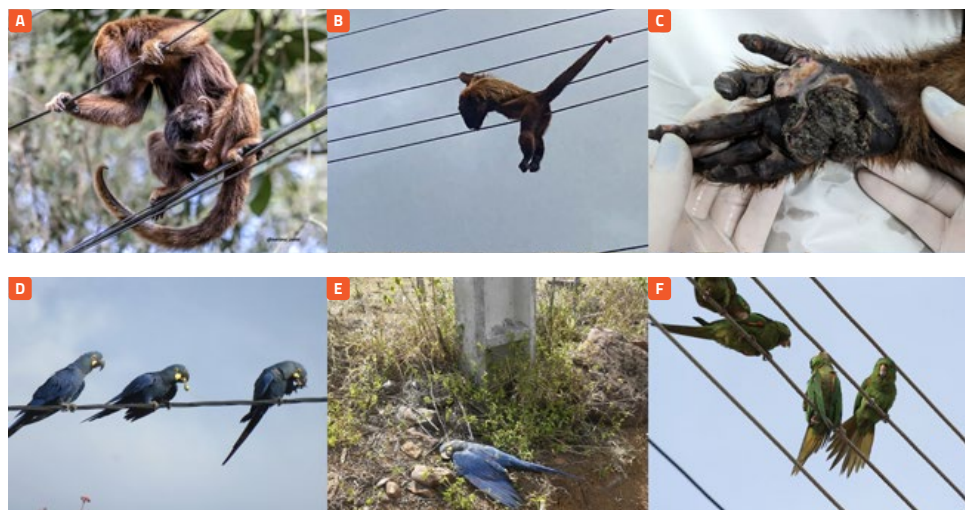


Figura 9.7. Además de afectar a las aves, las electrocuciones también suponen una amenaza para los mamíferos arborícolas, grupo para el que los eventos de fatalidad están mejor documentados en Brasil. A, B y C: el mono aullador rojo (*Alouatta guariba*), primate endémico y vulnerable de la Mata Atlántica, es una especie afectada por las electrocuciones. Imágenes cortesía de Projeto Macacos Urbanos. D y E: el guacamayo de Lear (*Anodorhynchus leari*), ave endémica del bioma Caatinga del norte del estado de Bahía, también sufre de eventos de electrocuciones. Imágenes cortesía de Mariana Diniz y Thiago Filadelfo. F: grupo de *Psittacara leucophthalmus* en red de baja tensión, entre los que se observa un individuo electrocutado, Minas Gerais. Imagen cortesía de Katia G. F. Giaretta

9.3. Electroculión y colisión de aves con el tendido eléctrico en Chile

Francisco Santander

Proyecto Aves y Tendido Eléctrico, AvesChile, Chile

Laboratorio de Ecología de Vida Silvestre, Facultad de Ciencias Forestales

y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile, Chile

Geobiota Consultores, Chile

La colisión y electroculión de aves con infraestructuras como las líneas eléctricas representan una de las principales causas de mortalidad de fauna silvestre a nivel global (Loss et al., 2015) y se han convertido en un problema de conservación en todos los continentes (Bernardino et al., 2018; Martín Martín et al., 2022; Rebolo-Ifrán et al., 2023). Las aves rapaces, debido a su gran envergadura, son particularmente vulnerables a la electroculión (Lehman et al., 2007), mientras que las aves pequeñas, acuáticas o de humedales tienen mayor riesgo de colisión con tendidos eléctricos cercanos a sus áreas de concentración, alimentación, reproducción y descanso (Martín Martín et al., 2022).

En Chile, la red eléctrica abarca aproximadamente 39.300 km de líneas de transmisión y 212.198 km de líneas de distribución, la mayoría de ellas aéreas (SEC, s.f.). A pesar de que las líneas de distribución presentan un mayor impacto por electroculión sobre las aves (Rebolo-Ifrán et al., 2023), no están sujetas a evaluación de impacto ambiental ni a la aplicación de medidas de mitigación o monitoreo de mortalidad. En cambio, las líneas de transmisión eléctrica de alto voltaje (tensión mayor a 23 kV) y sus subestaciones sí deben someterse a evaluación ambiental (SEA, 2023).

En los últimos años, se han implementado diversas medidas para reducir la mortalidad de aves por colisión e impactos asociados a las líneas de transmisión, como la planificación de rutas y la señalización de cables (SAG, 2015; APLIC, 2012). La señalización de cables es la medida más ampliamente adoptada y consiste en la instalación de dispositivos como espirales, placas, tiras o esferas, también conocidos como desviadores de vuelo de aves, en los conductores y cables de tierra para aumentar su visibilidad (Martins et al., 2023).

Para evaluar la efectividad de estas medidas, es fundamental realizar monitoreos guiados por directrices internacionales que permitan comparar tasas de mortalidad estimadas en diferentes secciones de líneas eléctricas. Sin embargo, en Chile, estos monitoreos no han sido estandarizados, lo que afecta la precisión de los datos sobre el impacto real de las líneas eléctricas en la avifauna. Las frecuencias más comunes de búsqueda de carcasas en programas de monitoreo son trimestrales o semestrales (Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía, 2022), muy por debajo de las recomendaciones internacionales, que sugieren monitoreos al menos semanales (Martins et al., 2023).

A partir de datos recopilados por empresas a través de plataformas de acceso público, se han documentado 30 especies afectadas por colisión con líneas de transmisión. Entre ellas se encuentran la tortolita de la Puna (*Metriopela ayмара*), el chorlo de campo (*Oreopholus ruficollis*), la perdiz cojón (*Thinocorus orbignyianus*), el chirihue cordillerano (*Sicalis uropygialis*), el tiuque (*Milvago chimango*), la tórtola (*Zenaida auriculata*), el queltehue (*Vanellus chilensis*), el zorzal (*Turdus falcklandii*), el jilguero cordillerano (*Spinus uropygialis*), el pájaro plomo (*Geospizopsis unicolor*), el tucúquere (*Bubo magellanicus*), el nuco (*Asio flammeus*) y la cachaña (*Enicognathus ferrugineus*).

Por otro lado, el proyecto de ciencia ciudadana Aves y Tendido Eléctrico de AvesChile (<https://aveschile.cl/proyecto-aves-y-tendido-electrico/>) ha recopilado información sobre eventos de electrocución y colisión en líneas de distribución y transmisión, registrando 40 especies afectadas. Entre las aves más afectadas por electrocución en tendidos de

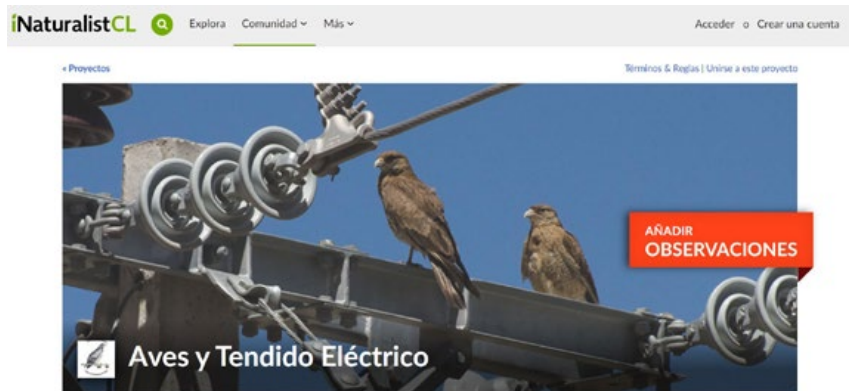


Figura 9.8. Portada del sitio web del proyecto de ciencia ciudadana Aves y Tendido Eléctrico de AvesChile (<https://aveschile.cl/proyecto-aves-y-tendido-electrico/>). © AvesChile

distribución destacan el águila mora (*Geranoaetus melanoleucus*), el aguilucho común (*Geranoaetus polyosoma*), el tucúquere (*Bubo magellanicus*), el jote de cabeza colorada (*Cathartes aura*), el jote de cabeza negra (*Coragyps atratus*), el cernícalo americano (*Falco sparverius*), el peuco (*Parabuteo unicinctus*) y el cóndor (*Vultur gryphus*).

Los resultados de monitoreos tanto de empresas como de ciencia ciudadana coinciden con estudios a nivel sudamericano, que identifican a especies de las familias Pelecanidae, Laridae, Accipitridae, Falconidae, Ardeidae y Rallidae como las más afectadas (Sarasola et al., 2022; Rebolo-Ifrán et al., 2023). No obstante, la riqueza y frecuencia de especies afectadas están subestimadas debido al bajo esfuerzo de muestreo y a metodologías inadecuadas (Barrientos et al., 2018). La frecuencia trimestral de monitoreo es insuficiente para estimar correctamente la tasa de mortalidad, y la falta de estudios sobre la remoción de carcasas por carroñeros subestima significativamente los valores reportados. Además, no existe una estandarización en el esfuerzo de muestreo o la frecuencia de campañas, lo que impide evaluar adecuadamente el impacto sobre la fauna. La mayoría de los monitoreos no consideran factores clave como la detección de carcasas, la accesibilidad a los sitios y las diferencias ambientales, como los tipos de vegetación, la variación estacional y el clima, lo que, junto con la ausencia de experimentos de remoción de carcasas, contribuye a una evaluación imprecisa del impacto de los tendidos eléctricos sobre la biodiversidad (Bernardino, et al., 2022; Lazo et al., 2016).

La implementación de los seguimientos de las medidas de mitigación y de los monitoreos de mortalidad debe ser estandarizada en Chile, conforme a estándares internacionales, con el fin de mejorar la precisión en las estimaciones de mortalidad y en la evaluación del impacto real de las líneas eléctricas sobre la avifauna.

9.4. Protección y construcción, un trabajo en conjunto en Chile

Carolina Donoso

Responsable de Medio Ambiente, Servidumbres y Permisología, Redinter Chile

El proyecto de construcción de líneas de transmisión eléctrica en alta tensión denominado “Nuevas Líneas 2x220 kV entre Parinacota y Cóndores”, desarrollado por la compañía Red Eléctrica del Norte (REDENOR, propiedad en su mayoría de Redinter Chile), consistió en la construcción de 277 km de líneas con un total de 510 estructuras o torres, que unieron las comunas de Alto Hospicio, Pozo Almonte, Huara, Camarones y Arica, todas ubicadas geográficamente en el área denominada Norte Grande de Chile. El principal objetivo es satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica en las regiones de Tarapacá y Arica y Parinacota, mediante la expansión y fortalecimiento del Sistema de Transmisión Nacional, considerado servicio público conforme al artículo 7 de la Ley General de Servicios Eléctricos.

La iniciativa buscaba robustecer el Sistema Eléctrico Nacional mejorando la seguridad, calidad y continuidad del suministro eléctrico en el norte de Chile. Asimismo, permitiría facilitar la evacuación de energía renovable generada en la zona (contribuyendo a los objetivos nacionales de descarbonización de la matriz energética y desarrollo sostenible), reducir la congestión de redes existentes y garantizar el abastecimiento energético para sectores productivos, industriales y residenciales. En definitiva, la línea es una infraestructura estratégica para el desarrollo económico regional, la resiliencia energética y el cumplimiento de los compromisos ambientales del país.

El proyecto y su afectación en el territorio fue tramitado bajo las leyes ambientales de Chile, es decir, a través del sistema de evaluación de impacto ambiental (SEIA) mediante una evaluación de impacto ambiental (EIA), obteniendo una resolución de calificación ambiental (RCA) favorable (Resolución Exenta de Calificación Ambiental 1112/2019). A partir de la obtención de la RCA, el proyecto inició su fase de construcción en mayo de 2020 hasta octubre de 2022, fecha en la cual inició sus operaciones.



Figura 9.9. Golondrina de mar negra (*Hydrobates markhami*) (izquierda). Nido de golondrina de mar negra en el área de protección Pampa Chaca, Arica, región de Arica y Parinacota, Chile (derecha). Por thibaudaronson vía iNaturalist. CC BY-SA 4.0 (izquierda). © Ignacio Nitsche para Maldita Comadreja (derecha)

A pesar de contar con una RCA favorable, este proyecto enfrentó grandes desafíos, entre ellos la pandemia COVID-19. Pero, sin duda alguna, el más relevante fue el lograr la construcción sin afectar los sitios de reproducción de la especie golondrina de mar negra (*Hydrobates markhami*¹¹), clasificada como En Peligro a nivel nacional (Decreto Supremo 79/2018), cuyas áreas de nidificación serían atravesadas por el proyecto (Figura 9.9).

La golondrina de mar negra

La golondrina de mar negra (*Hydrobates markhami*) es una pequeña ave marina perteneciente a la familia de los Hydrobatidae (Orden Procellariiformes). Se distribuye en aguas tropicales del Pacífico y visita tierra firme solo para reproducirse (en el desierto del norte de Chile y sur de Perú). La mayoría de las colonias reproductivas descritas para la especie se encuentran en Chile, en las regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá. Para nidificar prefiere cavidades naturales asociadas a costras salinas a nivel del suelo, colocando un solo huevo por temporada. Su plumaje es completamente pardo negruzco con bandas grises en las alas y su cola es corta y bifurcada y se alimenta de cefalópodos, crustáceos y peces, como la anchoveta o el pejerrey. En cuanto a las amenazas sobre la especie, la principal es la contaminación lumínica proveniente de ciudades e industrias, que atraen y desorientan a volantes en sus primeros vuelos nocturnos en dirección al mar. Entre otras amenazas, se describen la minería y el desarrollo de proyectos energéticos en el desierto de Atacama (Medrano et al., 2028; ROC, s.f.).

¹¹ En 2019 el Comité de Clasificación de América del Sur (South American Classification Committee -SACC-) aprobó la propuesta n° 829, que une el género *Oceanodroma* con *Hydrobates*, prevaleciendo este último.

Construcción de la línea de transmisión en áreas de nidificación, Norte Grande de Chile

Técnicamente la línea de transmisión eléctrica se diseñó para operar a una tensión nominal de 220 kV y una frecuencia de 50 Hz, cumpliendo con los estándares nacionales e internacionales aplicables al sistema eléctrico de alta tensión.

La infraestructura contempla dos circuitos independientes, cada uno con una capacidad de transporte de 260 megavoltio-amperios (MVA), lo que permite una operación eficiente y segura del sistema. Cada fase está compuesta por dos conductores, lo que mejora la capacidad de transmisión y reduce las pérdidas eléctricas. Las estructuras de soporte utilizadas son torres metálicas auto soportadas de celosía, diseñadas para resistir condiciones climáticas adversas y garantizar la estabilidad mecánica de la línea. La aislación entre los conductores y las estructuras se realizó mediante discos de vidrio templado antiniebla, seleccionados por su alta resistencia mecánica y su buen desempeño en ambientes húmedos o con presencia de niebla, como ocurre en el Norte Grande de Chile. Las fundaciones de las torres, en hormigón armado, aseguran una base sólida y duradera para cada estructura. En el diseño se contempló una franja de servidumbre¹² de 40 metros de ancho.

Como se ha mencionado, la línea de transmisión 2x220 kV entre Parinacota y Cóndores atraviesa sitios de reproducción de la golondrina de mar negra, por lo que, en el marco de su evaluación ambiental, se analizaron los impactos asociados y establecieron medidas de mitigación y compensación relacionadas con la especie, las cuales se resumirán a continuación. Adicionalmente, en febrero de 2021, tras la formulación de cargos de la Superintendencia de Medio Ambiente de Chile, se presentó un Plan de Cumplimiento Ambiental, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento sobre Programas de Cumplimiento, Autodenuncia y Planes de Reparación (Decreto Supremo 30/2012; Resolución Exenta 5/ROL F-033-2021).

¹² En Chile, la franja de servidumbre se refiere a una porción de terreno que queda gravada legalmente para permitir el uso o paso por parte de otro predio o entidad, y está regulada principalmente por el Código Civil, el Código de Aguas, y leyes sectoriales como la Ley N° 20.998 (Servicios Sanitarios Rurales) y la Ley N° 21.458 (Subdivisión de Predios Rústicos), es decir, es un gravamen impuesto sobre un predio (sirviente) en utilidad de otro predio de distinto dueño (dominante).

ÁREAS DE NIDIFICACIÓN: SUBCOLONIAS DE GOLONDRINA DE MAR NEGRA

Las áreas de nidificación identificadas en la región, y que son afectadas por dicha línea de transmisión, son cuatro, las cuales se denominan:

- “Jarza”, con una afectación lineal de 3,13 km de línea de transmisión (7 estructuras);
- “Pampa Camarones”, con una afectación lineal de 32 km de línea de transmisión (65 estructuras);
- “Pampa Chuño” con una afectación lineal de 13,81 km de línea de transmisión (29 estructuras) y
- “Pampa Chaca” con una afectación lineal de 5,61 km de línea de transmisión (12 estructuras).

Estas se encuentran divididas por la llamada “quebrada Camarones” entre dos regiones del Norte Grande de Chile, respondiendo a una división político-administrativa. Es importante señalar que, entre la primera colonia de nidos y la última afectadas por la línea, hay aproximadamente 111 km de distancia.

Medidas de mitigación en fase de construcción

Según se reconoce en la RCA N°1112/2019, la construcción de la línea generaba como impacto ambiental la pérdida de superficie de hábitat de nidificación para la especie, debido a las obras temporales y permanentes (considerando 5.1 de la RCA). Dicho efecto se presentaría en la fase de construcción, debido a la habilitación y obras al interior de la franja de servidumbre (la cual es de 20 metros a cada lado del eje a lo largo de toda la línea) y de caminos de acceso. Por ello se propusieron medidas de mitigación, detalladas en la RCA N° 1112/2019 (“Protección a los sitios de nidificación de la especie *Hydrobates markhami*”), asociadas al Plan de Seguimiento de las áreas de nidificación de la especie, contenido en su considerando 8.1.2.

Las medidas de mitigación establecidas consistieron en diversas actividades constructivas y de manejo del área, que tenían por objetivo disminuir la pérdida de la superficie de los sitios de nidificación. Con la aplicación de estas medidas se estimó una pérdida promedio de 2,33 nidos inactivos/hectárea (0,2% del total de nidos que se estima para esta área) y un indicador de éxito de 0 nidos activos destruidos (con huevos,

polluelos o indicios de ocupación). Ello se llevó a cabo a lo largo del emplazamiento de las obras, en aquellos sectores en que se encuentran las subcolonias de golondrina de mar negra.

Así se establecieron dos paquetes de medidas: las primeras propuestas durante la evaluación ambiental y las segundas correspondientes al Plan de Cumplimiento Ambiental en el marco de la Formulación de Cargos de la Superintendencia de Medio Ambiente (Resolución Exenta 5/ROL F-033/2021; Resolución Exenta 2240/2024). Las medidas adoptadas durante la construcción fueron:

a) Construcción fuera de la temporada de nidificación

Esta medida consistió en limitar la construcción, en todas las fases (excavación, cimentación, estructuras, tendidos, caminos, entre otras), solo a la temporada donde no se produce nidificación de la especie, es decir, entre los meses de enero a junio. Ello significó un desafío programático y logístico, ya que se debían desmovilizar los frentes de trabajo de las áreas de nidificación a más tardar antes del 30 de junio de cada año en que duró la construcción.

b) Reducción de las obras en los sitios de nidificación

c) La no utilización de explosivos en las áreas de nidificación

El uso de explosivos como medida constructiva quedó completamente descartada, no solo en las áreas de nidificación, sino que aplicó para todo el proyecto, con el fin de prevenir la afectación de cualquier otra especie.

d) Uso de portales para la instalación de los conductores

Su utilización tenía como objetivo el sostener los cables a una altura adecuada sobre las áreas de nidificación, logrando la protección del hábitat (áreas con nidos).

e) Restricciones de velocidad

Esta medida se utilizó en primer lugar en las áreas de nidificación, tanto para proteger los nidos propiamente como para evitar la muerte de individuos jóvenes (plumones) que, eventualmente, pudieran estar saliendo de los nidos, o adultos que, por ataques de depredadores naturales, se pudieran encontrar en tierra. Con posterioridad esta medida se extendió a toda la obra con el fin de salvaguardar otras especies de baja movilidad que pudieran encontrarse en el área del proyecto.

f) Liberación de las áreas a construir previamente al inicio de las obras

La liberación de las áreas previo al inicio de las obras se convirtió en una de las medidas más importantes y efectivas, por lo que se explica en forma detallada más abajo.

g) Monitoreo a pie de obra

Junto con la liberación de las áreas, esta medida, realizada con la metodología de “micro ruteo”, fue una de las más efectivas, por lo que se explica también más abajo.

h) Manejo adecuado de los residuos

i) Prohibición de alimentar animales, tanto domésticos como silvestres, así como la prohibición de mantener animales domésticos (perros y gatos) en las zonas de construcción

j) Instalación de señalética

LIBERACIÓN DE LAS ÁREAS A CONSTRUIR Y MONITOREO A TRAVÉS DE MICRO RUTEO

La actividad de liberación consistió en que, previo al inicio de cualquier actividad (de la obra), un profesional especialista ambiental debía revisar y constatar que en las áreas a intervenir para ejecución de obras no existían nidos en ninguna de sus condiciones (con huevos, polluelos o indicios de ocupación).

Para ello se elaboró una metodología de “micro ruteo”. En general, el micro ruteo es una metodología utilizada para identificar cavidades naturales en el suelo que podrían ser utilizadas por aves, como por ejemplo la golondrina de mar negra. Esta actividad se desarrolló en tres etapas:

- 1.- Identificación de sitios potenciales, mediante inspecciones visuales pedestres en áreas con costras salinas. Estas caminatas fueron realizadas por especialistas en biodiversidad.
- 2.- Método olfativo, que consistió en detectar el olor característico de la especie en las entradas de cavidades.
- 3.- Uso de *playback* acústico, el cual consistió en la reproducción de audio correspondiente a la llamada de la golondrina para provocar una respuesta vocal desde dentro de la cavidad, para confirmar la presencia de individuos.

A partir del resultado del micro ruteo, se determinaba el estatus de los nidos en el área de influencia, que podía ser:

- *Nido activo*: con huevo, polluelo o signos que indiquen su ocupación.
- *Potencial sitio de nidificación*: lugar con presencia de cavidades naturales en el suelo, asociados a costras salinas.
- *Evidencia de nidificación*: cavidades naturales con olor característico a golondrina, cúmulos de fecas o plumón, huellas en la entrada de las cavidades, polluelos momificados, carne fresca de ave (principalmente plumas), restos de cáscara de huevo, canto de polluelos o presencia de estos y/o ejemplares vivos o muertos en su interior.
- *Nido inactivo*: con evidencias de nidificación pasada, sin adultos, polluelos ni huevos recientes.

El micro ruteo se llevó a cabo tanto en las áreas de emplazamiento de las estructuras (torres) como a lo largo de los caminos de acceso, siempre de manera previa al inicio de las actividades constructivas. En el caso de las torres, el micro ruteo abarcó un área circular con un radio de 20 m desde el eje central de cada estructura. Por su parte, la superficie ocupada para la construcción de caminos de acceso correspondió únicamente al largo total de dichos caminos (variable según la distancia entre estructuras), con un ancho constante de 4 m. Es importante destacar que las superficies contempladas para el micro ruteo fueron considerablemente mayores que las áreas efectivamente intervenidas durante la construcción.

Adicionalmente, la prospección orientada a la identificación de sitios de nidificación se realizó en toda la extensión de los caminos de acceso, considerando una franja de 70 m a cada lado del eje del trazado proyectado. En el caso de las torres, esta prospección se efectuó dentro de un radio de 70 m desde la estaca central, cubriendo una superficie aproximada de 15 393 m².

Además, se consideró que, aun cuando las actividades de construcción se realizaran fuera de la temporada de nidificación, existía la posibilidad de que parejas de golondrinas llegaran al área antes y/o después de esa ventana de tiempo. Con la actividad de liberación se minimizó la alteración y destrucción de nidos, ya que, de encontrar un nido activo dentro del área a intervenir, las obras serían detenidas y

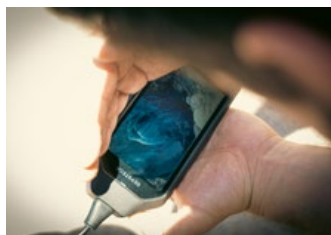
reiniciadas una vez se compruebe el abandono del nido. Para asegurar lo anterior, se realizó además un monitoreo a pie de obra, para el cual se contó con un profesional calificado para que cumpliera con las tareas de supervisión y control de los trabajos de construcción en el área. De esta manera se detectaría en forma temprana la eventual presencia de ejemplares de la especie en las áreas de intervención.

UTILIZACIÓN DE CÁMARAS TRAMPA

Para comprobar si los nidos identificados con “olor característico a golondrina” se encontraban abandonados u ocupados, se procedió a la instalación de cámaras trampa, dispositivos fotográficos o de video que se activan automáticamente mediante sensores de movimiento para registrar la presencia de golondrinas sin interferir en su comportamiento o reproducción. Cada una de las instaladas permaneció apuntando a la cavidad registrada con olor por un mínimo de siete noches y ocho días. Tanto la instalación como su retiro estuvieron a cargo de un especialista en biodiversidad. Además, se registraron dos fotografías: una durante la instalación y otra durante el



Figura 9.10. Arriba: inspección de nido de golondrina de mar negra, a través del uso de cámaras trampa, en el área de protección Pampa Chaca, Arica, región de Arica y Parinacota, Chile. Abajo: visualización de golondrina a través de cámaras trampa. Noviembre de 2022. © Ignacio Nitsche para Maldita Comadreja



retiro (una del endoscopio mostrando la falta de registro directo dentro de la cavidad al momento de instalar la cámara, y otra de este mismo instrumento mostrando la falta de actividad directa del nido al momento de desinstalar la cámara).

De manera adicional para la constatación del abandono del nido, éste debió ser monitoreado previo a la instalación de la cámara y al momento de retirarla.

El resultado de lo anterior arrojó que los nidos fueron considerados como “abandonados” siempre que se cumplieran las siguientes situaciones:

- Falta de registro directo (huevo, polluelo y/o adulto) dentro de la cavidad al momento de instalar o retirar la cámara trampa.
- Falta de registro audiovisual (fotografía, video y/o audio) que indique la presencia de uno o más individuos dentro de la cavidad en donde fue instalada la cámara trampa.
- Falta de respuesta de vocalización al realizar la metodología de playback.

Consideraciones finales

La construcción de la línea de transmisión eléctrica en el Norte Grande de Chile, uno de los paisajes más sensibles del país, representa un hito relevante para el fortalecimiento del Sistema Eléctrico Nacional, al facilitar la integración de energías renovables y mejorar la seguridad y continuidad del suministro eléctrico en una zona estratégica del país. No obstante, su ejecución implicó un desafío ambiental significativo al atravesar áreas de nidificación de la golondrina de mar negra, una especie en peligro de conservación.

Gracias a una planificación rigurosa y a la implementación de medidas de mitigación innovadoras (como el uso de portales para la instalación de conductores, el micro ruteo, el monitoreo a pie de obra y el uso de cámaras trampa) fue posible compatibilizar el desarrollo de infraestructura crítica con la protección de la biodiversidad (hábitat y especie). Estas acciones no solo permitieron minimizar la pérdida de hábitat y evitar la destrucción de nidos activos, sino que también sentaron un precedente valioso para futuros proyectos que deban ejecutarse en contextos ecológicamente sensibles.

La preservación de la especie en esta región se ha fortalecido, además, gracias a una iniciativa de colaboración entre Redinter y la Red de Observadores de Aves y

Vida Silvestre de Chile (ROC), que han trabajado conjuntamente en los últimos años, entre otros, en el monitoreo y en un Plan de Manejo oficial de la especie y sus sitios de nidificación. Un ejemplo concreto de colaboración público-privada, de una empresa con la sociedad civil, para mitigar los impactos de la infraestructura eléctrica y generar impactos positivos para la biodiversidad.

En definitiva, este proyecto demuestra que es posible avanzar hacia una matriz energética más limpia y robusta, integrando criterios de sostenibilidad y conservación de especies prioritarias, mediante una gestión ambiental responsable, adaptativa y basada en evidencia científica.

Mas información:

<https://www.redobservadores.cl/las-golondrinas-de-mar-del-norte-de-chile-cuentan-con-un-plan-recoge-como-llegamos-hasta-aqui-y-como-impacta-en-la-conservacion-de-estas-especies/>

<https://www.redobservadores.cl/monitoreo-de-sitios-de-reproduccion-de-golondrinas-de-mar-en-arica-y-parinacota-roc-redenor/>

<https://www.redinter.cl/es/actualidad/nota-de-prensa/2024/07/unidos-por-la-golondrina-de-mar-negra-redinter-red-observadores-aves-roc-educan-sobre-conservacion-de-esta-especie-en-peligro-extincion>

<https://www.redeia.com/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2025/09/redinter-y-red-de-observadores-de-aves-vida-silvestre-inauguran-un-nuevo-area-protecci%C3%B3n-golondrina-negra-en-chile>

9.5. Pérdida de biodiversidad debido a las líneas eléctricas y acciones para abordar el problema en Costa Rica

**Shirley Ramírez, Karina Rodríguez, Grettel Delgadillo,
Luis Rolier Lara y Angie Sánchez**

Grupo Técnico de Electrificación Sostenible, Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Costa Rica

Costa Rica es un país megadiverso con más del 5% de la biodiversidad del mundo. Las áreas protegidas cubren el 25% de su territorio y los agroecosistemas boscosos y forestales cubren el 26% (MINAE et al., 2018). La fauna silvestre pertenece al dominio público y está protegida por el Gobierno de Costa Rica, el cual, a través del Ministerio de Ambiente y Energía, tiene el deber de velar que las actividades humanas no afecten procesos ecológicos vitales. Los desarrolladores de proyectos de infraestructura son responsables de cualquier daño causado al ambiente y de cualquier impacto sobre la vida silvestre y deben adoptar medidas para minimizar ese impacto. En el 2018 la Directriz Ministerial MINAE 013-2018 creó un grupo de trabajo intersectorial conocido como “Grupo de Electrificación Sostenible”, que involucra al gobierno, empresas eléctricas, sociedad civil y academia, además avaló oficialmente la *Guía para la prevención y mitigación de la electrocución de vida silvestre por tendidos eléctricos en Costa Rica* (Rodríguez et al., 2020).

Hay ocho compañías eléctricas reguladas por el gobierno, que operan más de 30 000 kilómetros de líneas eléctricas. Arauz-Abrego (2002) identificó los puntos más propensos a la electrocución a nivel nacional para los años 1998-2001. Díaz (2014) encontró que en un año se produjeron 774 electrocuciones de fauna en la provincia de Guanacaste, siendo los mamíferos (monos y martillas) los más afectados. Durante 2018-2019 se sistematizaron oficialmente para el país por primera vez datos anuales sobre electrocución de fauna silvestre, con un total de 7 154 animales reportados. Los

mamíferos fueron el grupo más afectado con 3 401 muertes, particularmente las ardillas (*Sciurus* spp.) con 993 y los monos (familia Cebidae) con 947. En aves, murieron más de 2 827 individuos de diversas especies; el zanate coligrande (*Quiscalus* spp.) con 724 individuos y las palomas (familia Columbidae) con 627 fueron los más afectados. Además, se reportó la muerte de 438 reptiles de diversas especies. Más de 450 animales no pudieron ser identificados taxonómicamente (Rodríguez et al., 2020). Estos datos no muestran el número total de electrocuciones durante el período porque la información recopilada provino solo de seis de las ocho empresas. Además, es solo cuando la electrocución provoca una falla eléctrica que no se restablece automáticamente el flujo eléctrico, la empresa envía un técnico al sitio para confirmar la causa, y tampoco hay investigaciones continuas sobre el tema. Cuando los animales heridos sobreviven, son llevados a centros de rescate, que absorben gran parte de los gastos de atención veterinaria en casos de electrocución, así como los costos de mantenimiento, liberación y atención continua de los animales que no pueden ser liberados.

En 2020 este tema fue incluido en el Plan Nacional de Energía, y también ha sido identificado como una interacción negativa que requiere atención en el marco de la Política y Estrategia Nacional de Biodiversidad. Las empresas eléctricas de Costa Rica llevan más de 15 años realizando labores preventivas, desde la emisión de la Directiva DM 013-2018. Han aceptado proactivamente las recomendaciones de la *Guía para la prevención y mitigación de la electrocución de vida silvestre por líneas eléctricas aéreas en Costa Rica* (Rodríguez et al., 2020) mediante la adquisición e instalación de barreras y dispositivos aislantes en las líneas de distribución, incluyendo dispositivos antitrepaadores para tensores, dispositivos electrostáticos para aisladores de porcelana y dispositivos aislantes para transformadores de la red eléctrica y subestaciones. Además, se han instalado pasos aéreos para fauna silvestre en zonas vulnerables y, como medida preventiva, se poda o controla la vegetación de forma periódica.

En el 2024, mediante el Decreto Ejecutivo MINAE número 44329 “Oficialización de los instrumentos para la prevención y mitigación de la electrocución de fauna silvestre por tendidos eléctricos en Costa Rica”, se logra la obligatoriedad en el uso de la Guía como estándar mínimo para las empresas y otros actores relacionados con la generación y distribución de electricidad. Cada año las empresas deben presentar un informe anual del plan de implementación de la guía, que debe incluir, entre otros aspectos, acciones para prevenir la fragmentación de los ecosistemas por la red eléctrica (análisis de diseño de la red previa a la construcción), identificación continua puntos calientes de electrocución de fauna silvestre, acciones concretas para la prevención de electrocución en áreas ambientalmente frágiles, en sitios con especies amenazadas,



Figura 9.11. Arriba: (izq.) perezoso de dos dedos utilizando un cable eléctrico para desplazarse entre grupos de árboles. Esta es la especie de perezoso más afectada por electrocución en Costa Rica; hasta más de 300 perezosos llegan a registrarse electrocutados en un año. © Efraín González/ Empresa de Servicios Públicos de Heredia; (dcha.) madre y cría de monos aulladores electrocutados en el norte de Costa Rica. La madre murió a causa de las lesiones por electrocución unos días después. Esta es la especie de mono más afectada por la electrocución en el país. © International Animal Rescue Costa Rica, Nosara. Abajo: responsabilidad ambiental de las empresas eléctricas: (izq.) dispositivo antiescalamiento para evitar que la fauna suba por un tirante hasta el cable eléctrico. © Dinnia Ramírez; (dcha.) monitoreo y uso de equipos de prevención en líneas eléctricas. © Diego Carballo/ Empresa de Servicios Públicos de Heredia

endémicas o migratorias. La empresa debe articular acciones también con la sociedad civil, municipalidades, organizaciones no gubernamentales y centros de rescate para buscar acuerdos que permitan enfrentar los costos asociados al cuidado de animales electrocutados que sobreviven a la electrocución y huérfanos y búsqueda de planificación espacial regional que prevenga la electrocución de fauna silvestre.

Entre 2021 y 2025 el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), empresa que administra más del 70% de los tendidos eléctricos en Costa Rica, destinó 1 980 millones de dólares en acciones para salvaguardar la fauna silvestre que interactúa con la red eléctrica, invertidos en 57 kilómetros de conductor semiaislado, 177 pasos aéreos, 3 007 dispositivos antiescalamiento, 227 transformadores aislados, 110 dispositivos electrostáticos y 211 lámparas ámbar para orientación de tortugas marinas.

En conclusión, la experiencia de Costa Rica demuestra que la pérdida de biodiversidad asociada a las líneas eléctricas es un desafío complejo que requiere coordinación intersectorial, compromiso empresarial y respaldo normativo. Las acciones implementadas —desde la creación de guías técnicas hasta la inversión en dispositivos y pasos seguros para la fauna— reflejan un enfoque integral que busca armonizar el desarrollo energético con la conservación de la vida silvestre. Mantener y fortalecer estas medidas será clave para garantizar que la infraestructura eléctrica conviva de manera sostenible con la gran riqueza biológica del país.

9.6. El impacto de las líneas eléctricas en México

Patricia Manzano Fischer

Agrupación Dodo A. C., México

México es un país megadiverso que alberga el 10% de las especies del planeta en menos del 1% de la superficie terrestre (Mittermeier et al., 2004). Su gran diversidad biológica se encuentra en ecosistemas como selvas tropicales y secas, bosques templados, matorrales, pastizales y desiertos (Sarukhán et al., 2017). Su avifauna es particularmente rica, con 1 150 especies de aves, de las cuales 77 se ven afectadas por las líneas de energía eléctrica debido a colisiones o electrocuciones; 12 de estas especies están en riesgo de extinción (Cartron et al., 2000, 2005, 2006; Escobar-Ibañez et al., 2022; Ferrer-Sánchez et al., 2017; Manzano-Fischer et al., 2007).

Con una superficie de casi 2 millones de kilómetros cuadrados y una población de 129 millones de habitantes (INEGI, 2024), México enfrenta desafíos para garantizar el acceso a la energía eléctrica en su territorio. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es el organismo público que opera la red de 111 062 km de líneas de transmisión y 899 424 km de líneas de distribución (CFE, 2024). Esta infraestructura genera impactos significativos sobre la biodiversidad, particularmente en las líneas de distribución, que incrementan los riesgos de electrocución, y en las de transmisión, que son una amenaza para las aves por colisiones.

Electrocución

Las líneas de distribución de energía en México, construidas principalmente con postes de concreto y crucetas metálicas, presentan un riesgo elevado de electrocución para las aves debido a su diseño. Las crucetas metálicas, que suelen medir 2 metros y tener dos aisladores en el mismo lado, reducen la distancia entre fases, incrementando el riesgo de electrocución. Adicionalmente, los puentes sin aislar y las boquillas expuestas en los transformadores son factores que agravan este problema. Las líneas más antiguas utilizaban aisladores rígidos cortos tipo alfiler, que se han cambiado con

el tiempo por los rígidos de tipo poste más altos, lo que brinda una mayor separación entre la fase y la cruceta. Otros elementos que puede incrementar el riesgo son los puentes sin aislar y los bornes o boquillas expuestas en los transformadores.

En el norte del país se ha observado que las estructuras con mayor incidencia de aves electrocutadas son las tangentes, sin embargo, las terminales dobles con doble cruceta, a pesar de ser menos frecuentes, presentan una mayor proporción de aves electrocutadas (Cartron et al., 2006). La electrocución es especialmente frecuente en pastizales y áreas abiertas, donde los postes son lugares ideales para que las aves se posen para cazar o perchar. Este factor, aunado a la presencia de largas concentraciones de presas, puede hacer un sitio más susceptible a electrocuciones.

La electrocución afecta especialmente a aves rapaces grandes como las águilas reales, que tienen una envergadura de entre 2,15 y 2,27 metros. Estas aves pueden tocar dos fases o una fase y una parte metálica del poste conectada a tierra, lo que las expone a electrocución. El riesgo es mayor en águilas jóvenes con poca experiencia de vuelo. Sin embargo, aves más pequeñas como el cuervo llanero (*Corvus cryptoleucus*) también se ven afectadas, especialmente durante la época reproductiva, cuando los cuervos anidan en postes y los incidentes de contacto aumentan. Al ocurrir estos incidentes se producen cortes en la energía que la CFE debe atender, lo cual tiene un costo económico, factor que, en su momento, facilitó su disposición para la modificación de postes.

La electrocución de aves se documentó por primera vez en México en la década de 1990 con los casos de águila pescadora en Baja California (Castellanos et al., 1999) y diversas rapaces, incluida el águila real, en Janos-Casas Grandes, Chihuahua (Cartron et al., 2000, 2005, 2006; Manzano-Fischer et al., 2007). Entre 1999 y 2004, se encontraron 316 aves electrocutadas para el norte de Chihuahua, siendo las especies más afectadas el halcón cola roja (*Buteo jamaicensis*) y el cuervo llanero, mientras que individuos electrocutados de águila real, águila de cabeza blanca (*Haliaeetus leucocephalus*) y halcón ferruginoso (*Buteo regalis*) solo fueron encontradas en el área de Janos-Casas Grandes (Cartron et al., 2006). En los años 2000, respondiendo a una petición de académicos y sociedad civil, la CFE implementó modificaciones en las líneas de distribución de la zona de Janos-Casas Grandes, incluyendo el remplazo de crucetas de metal por crucetas de madera más largas y la instalación de guarda perchas. El personal local de CFE utilizaba, además, tubos de PVC para aislar los cables que llegaba a las crucetas. Este tipo de modificación, aunque económico era de poca duración, ya que el viento y la vibración movían los tubos con lo cual dejaban de cumplir su función. Posteriores monitoreos reportaron una menor incidencia de aves electrocutadas en las líneas modificadas (Cartron et al., 2006).

Colisión

Un estudio realizado por Escobar-Ibañez et al. (2022) identificó 65 especies de aves afectadas por líneas de transmisión asociadas a granjas eólicas en Guanajuato, Oaxaca y Tamaulipas. Las familias más afectadas fueron Icteridae, Columbidae, Passerellidae y Anatidae. La paloma de ala blanca (*Zenaida asiatica*) fue la especie más registrada (282 individuos en 55 meses). Además, 12 de las especies documentadas están bajo alguna categoría de riesgo según la norma mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2020).

El futuro

Actualmente en México existen pocos estudios sistemáticos sobre electrocuciones y colisiones de aves en las líneas eléctricas. Es necesario implementar programas de monitoreo, especialmente en sitios de alto riesgo o con alta incidencia de electrocuciones y colisiones, que permitan identificar necesidades específicas y solicitar atención puntual por parte de la CFE. Adicionalmente, se requiere estandarizar un protocolo de monitoreo para que los estudios generen información comparable a nivel nacional que permita visualizar las tendencias a largo plazo, identificar áreas críticas y fortalecer la colaboración entre grupos de investigación.

Figura 9.12. La zona de Janos-Casas Grandes, en Chihuahua, es una de las zonas donde más se ha estudiado la problemática de la mortalidad de aves por líneas eléctricas en México. © Rick Harness



A pesar de que la CFE ha realizado modificaciones bajo pedidos específicos, como en la zona de Janos-Casas Grandes, estas acciones no se han integrado de forma sistemática en las normativas de construcción debido al alto costo de implementación a gran escala.

Una herramienta clave para mitigar este problema son las Manifestaciones de Impacto Ambiental (MIA), obligatorias para proyectos de construcción y operación de líneas eléctricas. Estas evaluaciones, requeridas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Una vez evaluada una Manifestación de Impacto Ambiental, la autoridad emite recomendaciones a cada proyecto para minimizar los impactos negativos sobre la biodiversidad. Entre las medidas de mitigación recomendadas para líneas de distribución se incluyen la instalación de crucetas más largas, el uso de aisladores más altos, la colocación de cubiertas en las boquillas, la instalación de guarda perchas y el colgado de aisladores en los extremos de las estructuras. Para las líneas de transmisión, se recomienda el uso de desviadores de aves en vuelo, como espirales, aletas o aspas verticales, que ayudan a reducir el riesgo de colisión.

El monitoreo de la efectividad de estas medidas es crucial para su mejora y para mitigar el impacto de las líneas eléctricas en la biodiversidad. Solo a través de esfuerzos coordinados y sostenidos se podrá garantizar la coexistencia entre el desarrollo energético y la conservación de las aves mexicanas.

Actualmente en México existen pocos estudios sistemáticos sobre electrocuciones y colisiones de aves en las líneas eléctricas. Es necesario implementar programas de monitoreo

9.7. Líneas eléctricas e interacciones con la fauna silvestre en Ecuador

Abel Antonio Gallo Pérez

GPS GROUP, Ecuador

En Ecuador el eje central del sistema eléctrico nacional es administrado por la Empresa Pública Estratégica Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP), a través de Transelectric (unidad de negocio), responsable del Sistema Nacional de Transmisión.

La red nacional ecuatoriana opera mediante múltiples niveles de voltajes (500, 230 y 138 kV). Las líneas de 500 kV constituyen la autopista eléctrica que transporta grandes bloques de energía desde las centrales de alto rendimiento, principalmente hidroeléctricas, hacia los centros de demanda (CELEC EP, s.f.). Las líneas de 230 kV funcionan como el sistema interprovincial de mayor cobertura, conectando subestaciones estratégicas y permitiendo el flujo de energía entre regiones (ARCERNR, 2022). Finalmente, las líneas de 138 kV soportan la distribución regional y la alimentación de sistemas de subtransmisión, que luego reducen el voltaje hacia los niveles de distribución comercial y residencial. Según estudios más recientes sobre la dimensión del sistema eléctrico ecuatoriano, la red de transmisión operativa (incluyendo líneas construidas y en operación en esos tres niveles de voltaje) alcanza aproximadamente 6 845 kilómetros (MRC Consultants and Transaction Advisers y PSR Energy Consulting and Analytics, 2024). De la red de distribución no hay referencias oficiales, pero supondría al menos varios miles de kilómetros más, según datos de infraestructura geoespacial de OpenInfraMap, que reporta 8 397 kilómetros de redes eléctricas cartografiadas en 2024-2025 (OpenInfraMap, 2025). Esta red constituye un sistema robusto y estratégico, cuya función es garantizar el transporte eficiente y continuo de energía hacia hogares, industrias, comercios y servicios esenciales.

Las amenazas que el sistema eléctrico puede representar para la biodiversidad no han sido descritas aún en profundidad. Gallo y Sánchez reportaron los primeros casos de electrocución de gallinazo negro o buitre negro americano (*Coragyps atratus*), registrados en la provincia de Santa Elena (región costa) y Orellana (región

oriente) (Gallo y Sánchez, 2022). Posteriormente se registró otro caso de electrocución relacionado con la misma especie en el que el ave murió al posarse sobre una estructura a 10 metros de altura (Molina, 2023). También se conocen casos de otras especies que ingresaron a centros de recate de fauna silvestre con heridas provocadas por interacciones con redes eléctricas en diferentes zonas del país. En Guayaquil por ejemplo, de acuerdo con registros no publicados del centro de paso de fauna silvestre Mansión Mascota- Fundación Proyecto Sacha, se han reportado varios ingresos de especies por heridas provocadas por electrocución, tanto aves: clarinero coligrande (*Quiscalus mexicanus*), aratinga caretirroja (*Psittacara erythrogenys*), como mamíferos: kinkajú (*Potos flavus*), ardilla de Guayaquil (*Simosciurus stramineus*) y perezoso de dos dedos de Hoffmann (*Choloepus hoffmanni*), siendo esta última la especie con mayor número de ingresos en esta institución (com. pers.).

En Ecuador, no existe una normativa específica que exija medidas concretas enfocadas directamente en evitar electrocuciones y colisiones. Sin embargo, el Código Orgánico del Ambiente y el Decreto Ejecutivo número 1761 (que establece el Reglamento Ambiental para Actividades Eléctricas) conforman el principal marco normativo ambiental para todos los proyectos eléctricos, estableciendo la obligación de realizar estudios de impacto ambiental y planes de manejo ambiental, en los cuales se consideran la protección de los recursos naturales. Estos elementos legales, junto con los principios constitucionales que priorizan el derecho a un ambiente sano y los derechos de la naturaleza, obligan a las empresas eléctricas a incluir medidas de prevención en sus proyectos y someten sus actividades a sanciones si causan daños al ambiente o a las especies silvestres.

Por lo tanto, es evidente que, a pesar del amplio alcance y la importancia estratégica del sistema eléctrico nacional, los impactos sobre la fauna silvestre asociados a electrocuciones y colisiones han sido escasamente documentados en el país, y aún no se abordan con una metodología específica. Los existentes registros puntuales confirman que mamíferos y aves ya se ven afectados por la infraestructura eléctrica en diferentes regiones. En este contexto, la incorporación sistemática de criterios de prevención, monitoreo y mitigación en las fases de planificación, construcción y operación de las líneas eléctricas representaría una oportunidad clave para reducir riesgos sobre la biodiversidad, fortalecer el cumplimiento del marco ambiental vigente y alinear el desarrollo del sector eléctrico ecuatoriano con buenas prácticas internacionales, adaptadas de países que ya cuentan con marcos normativos y protocolos específicos para la prevención de electrocuciones y colisiones de fauna silvestre.

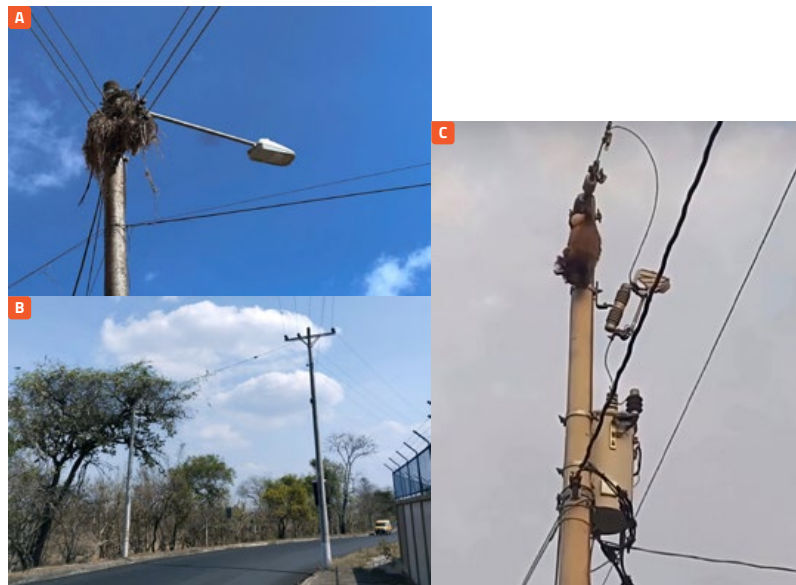


Figura 9.13. A: nidos de *Campylorhynchus fasciatus* en poste de hormigón en red eléctrica comunal. © María Portaluppi. B: poste de distribución eléctrica ubicado en un entorno de bosque seco, con cable tensor y presencia de vegetación en el cable tensor, lo que puede incrementar el riesgo de electrocución. © Abel Gallo-Pérez. C: perezoso de dos dedos de Hoffmann muerto por electrocución en red eléctrica domiciliaria. © Fundación Proyecto Sacha

9.8. La electrocución en mamíferos trepadores

James F. Dwyer¹, Larissa D. Biasotto² y Richard E. Harness³

^{1,3} EDM International Inc, Fort Collins, CO, EE. UU.

² BirdLife International, Cambridge, Reino Unido

La electrocución de mamíferos trepadores que suben a las líneas eléctricas y se desplazan por ellas constituye un problema de conservación muy extendido, pero en gran medida ignorado. Aunque hay pocos estudios sistemáticos, diversos artículos científicos y numerosas publicaciones en redes sociales documentan casos de electrocución en muchas regiones del mundo.

Los primates son particularmente sensibles a este problema. Por ejemplo, en América, los monos aulladores de manto dorado (*Alouatta palliata palliata*) se electrocutan con frecuencia (Figura 9.14). Su estado de conservación ha sido clasificado como Vulnerable por la Lista Roja™ de la UICN (Cortes-Ortíz et al., 2021), posiblemente en parte debido al impacto de la electrocución, especialmente en la región de Rio Grande do Sul, en Brasil. En este país, los titíes de penacho negro (*Callithrix penicillata*) (Pereira et al., 2020) y los monos aulladores (*Alouatta guariba clamitans*) también registran bajas regularmente por este problema (Printes, 1999; Lokschin et al., 2007; Correa et al., 2018; Chaves et al., 2022). En Costa Rica, los monos ardilla (*Saimiri oerstedii* y *S. o. citrinellus*) se enfrentan a un riesgo considerable, siendo posiblemente la electrocución su principal causa de mortalidad directa (Boinski et al., 1998). En general, las electrocuciones de adultos que transportan crías suelen llamar la atención de las comunidades humanas locales.

Otros mamíferos trepadores también se ven afectados. Por ejemplo, marsupiales como la zarigüeya orejiblanca (*Didelphis albiventris*), puercoespines (*Chaetomys subspinosus* y *Coendou insidiosus*) y perezosos (Figura 9.15), como el perezoso de dos dedos (*Choloepus didactylus*) (dos Santos et al., 2022) y el perezoso de collar (*Bradypus torquatus*). El creciente número de electrocuciones de esta última especie, endémica del oriente brasileño y catalogada en peligro, preocupa especialmente. En Estados Unidos son comunes las electrocuciones de ardillas arbóreas (*Sciurus*, varias especies) (EPRI, 2001).

Fuera de América, colobos angoleños (*Colobus angolensis palliatus*), cercopitecos de cuello blanco (*Cercopithecus mitis albogularis*), cercopitecos verdes de Hilgert (*Chlorocebus pygerythrus hilgerti*), babuinos amarillos del norte (*Papio cynocephalus ibleanus*) y gálagos de Garnet (*Otolemur garnettii lasiotis*) mueren electrocutados en Kenia (Katsis et al., 2018); los macacos rhesus (*Macaca mulatta*) y los langures comunes (*Semnopithecus entellus*) en India (Kumar y Kumar, 2015; Ram et al., 2015); los loris lentos (*Nycticebus spp.*) y el gibón de Java (*Hylobates moloch*) en Indonesia (Moore et al., 2014; Yi et al., 2022); y los langures de cara púrpura (*Trachypithecus vetulus nestor*) en Sri Lanka (Moore et al., 2010). En Bangladesh, donde la mayoría de las poblaciones de primates están amenazadas y en declive, los langures de Phayre (*Trachypithecus phayrei*) y los loris bengalíes lentos (*Nycticebus bengalensis*) también sufren este problema (Al-Razi et al., 2019). La lista de especies de primates con casos documentados de electrocución es extensa; aquí se omiten muchas por motivos de espacio, pero en Katsis et al. (2018) se puede consultar una larga compilación.



Figura 9.14. Monos aulladores de manto dorado electrocutados, fotografiados por *The Monkey Farm*, un centro de cuidado y rehabilitación de monos ubicado en Camino del Cielo, Playa Ocotal, Guanacaste, Costa Rica. Imágenes cortesía de *The Monkey Farm*. Imágenes adicionales están disponibles en <https://themonkeyfarm.org/transformer-project>.

Aunque la electrocución no siempre produce la muerte de los individuos, las quemaduras y amputaciones que les provocan las descargas eléctricas no letales, con frecuencia imposibilitan su rehabilitación y retorno a la vida silvestre. Por otra parte, estos eventos no solo hieren y matan a los primates, sino que también provocan interrupciones en el suministro eléctrico e importantes daños económicos al equipo de las compañías. Por ejemplo, en 2006 un cercopiteco verde causó un apagón nacional de cuatro horas en Kenia al entrar en una subestación y provocar un cortocircuito en un transformador (BBC News, 2016).

Es probable que las electrocuciones de mamíferos arbóreos estén aumentando a escala global porque las líneas eléctricas se están expandiendo rápidamente en los países en desarrollo para extender el servicio eléctrico a su población, alcanzando incluso áreas remotas. Además, este desarrollo de los sistemas eléctricos aéreos se está realizando con postes de hormigón armado o acero, lo que reduce los costos de mantenimiento a largo plazo frente a los menos robustos de madera, pero la existencia de conexión a tierra incrementa enormemente los riesgos de electrocución para la fauna silvestre (Slater et al., 2020).

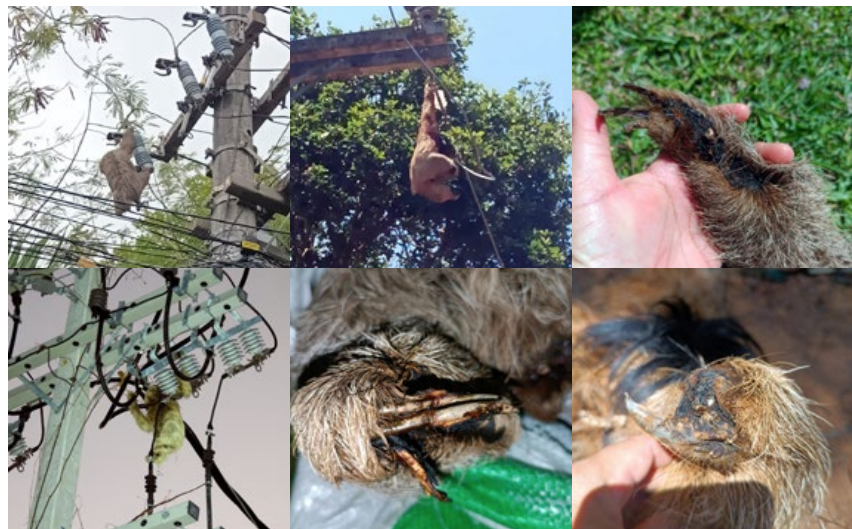


Figura 9.15. Perezosos de melena electrocutados, estado de Bahía, Brasil. Imágenes cortesía de Aruá Observação de Vida Silvestre, Brasil.

En muchos casos, los mamíferos trepadores se electrocutan al intentar cruzar carreteras o moverse por zonas despejadas entre fragmentos de bosque usando los cables eléctricos suspendidos sobre ellas. Se han desarrollado algunas técnicas de prevención específicas para primates, como escaleras de cuerda para permitir que crucen áreas abiertas sin usar líneas eléctricas (Lokschin et al., 2007) y colocar elementos aislantes en los postes para protegerles del contacto con los dispositivos eléctricos; pero la efectividad de estos sistemas aún no ha sido probada cuantitativamente ni tampoco se aplica de manera generalizada. Además, la mayoría de las técnicas de corrección de postes eléctricos se han diseñado para prevenir la electrocución de aves, fundamentalmente rapaces, pero las soluciones eficaces para ellas pueden no serlo para los primates debido a las diferencias en comportamiento y morfología corporal. Por ejemplo, la cola prensil de los primates arbóreos sufre comúnmente quemaduras en las electrocuciones y no tiene un análogo en la configuración corporal de las aves. Es necesaria más investigación en técnicas y equipos específicos para prevenir las electrocuciones de primates.

9.9. La historia española de las líneas eléctricas y las aves

**Miguel Ferrer¹, Juan José Iglesias Lebrija²,
Ernesto Álvarez² y Virginia Morandini¹**

¹ Estación Biológica de Doñana- Consejo Superior
de Investigaciones Científicas (EBD-CSIC), España

² Grupo de Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat (GREFA), España

Hasta 1977, sobre esta problemática solo existían algunos datos aislados de buitres negros (*Aegypius monachus*) muertos por electrocución en tendidos eléctricos en Extremadura (oeste de España), incluidos en algunos trabajos generales sobre esta especie. La primera revisión en toda regla de las aves que mueren en los tendidos eléctricos en España la realizó Jesús Garzón en una comunicación en la Conferencia Mundial sobre Aves Rapaces del Consejo Internacional para la Protección de las Aves (ICBP, por sus siglas en inglés), celebrada en Viena en 1975 (informe publicado en 1977). Allí Garzón informó de que la electrocución podría ser un factor muy importante en las tasas de mortalidad de aves de gran tamaño como el buitre negro, el búho real (*Bubo bubo*) y el águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*) (Chancellor, 1977).

El primer estudio sistemático sobre el efecto real de la electrocución en líneas eléctricas se inició en 1982 en el Parque Nacional de Doñana (Ferrer, 1988; Ferrer et al., 1986, 1987, 1991; Ferrer y De la Riva, 1987). Este estudio pionero demostró que más de 2 000 aves morían al año, entre ellas 400 rapaces, en sólo 100 km de líneas de distribución eléctrica en el Parque Nacional de Doñana (Figura 9.16 A). Esos estudios también demostraron que, para algunas especies, como el águila imperial, la electrocución era el factor de mortalidad más importante, empujándola directamente a la extinción. Como consecuencia de estos estudios, las líneas eléctricas en Doñana y sus alrededores se modificaron y aseguraron, lo que aumentó la tasa de supervivencia en el primer año de las crías de águila imperial ibérica del 17,6% al 80%, convirtiéndose en la medida de conservación más exitosa jamás adoptada para proteger a esta especie (Ferrer y Hiraldo, 1991).

Tras estos estudios, en junio de 1990, la Junta de Andalucía, en el sur de España, aprobó la primera orden ejecutiva en Europa regulando la construcción de líneas eléctricas para hacerlas seguras para las aves (Decreto 194/1990). El texto del Decreto describía los tipos de postes seguros permitidos para las nuevas líneas eléctricas, así como la obligación de modificar aquellos con diseños peligrosos en las líneas existentes. Como consecuencia, cuando se implementaron medidas de corrección selectivas, en el 13% de los postes que se identificaron como prioritarios, la mortalidad de aves por electrocución disminuyó en Andalucía un 82% (López-López et al., 2011). Durante los años siguientes, casi todas las comunidades autónomas (regiones) de España adoptaron decretos similares (Ferrer, 2012).

Sin embargo, el Gobierno estatal, cuyo papel es introducir legislación básica a escala nacional, no publicó un decreto hasta 18 años después (Real Decreto 1432/2008). Según este decreto, la obligatoriedad de adecuación y aislamiento de las líneas aéreas se reducía a las situadas en ciertas zonas protegidas, sin ningún tipo de priorización, considerándose todos los diseños de postes igualmente peligrosos para las aves. Además, desafortunadamente, este decreto incluía la disposición de que el Gobierno estatal, y no las compañías eléctricas, era el responsable de financiar la corrección de los postes eléctricos peligrosos para las aves, incluso si pertenecían a empresas privadas. Esta disposición ralentizó el proceso, ya que durante muchos años no se asignaron partidas presupuestarias para este fin y muchas regiones tardaron en aplicar el decreto en sus territorios.

Ante el escaso cumplimiento de la normativa vigente y los numerosos casos repetidos de mortalidad de especies amenazadas, en los últimos años se ha ejercido una fuerte presión social en España para que se impongan sanciones sustanciales si no se evitan las electrocuciones y colisiones. Esto, junto con la actuación de la Fiscalía General del Estado, ha dado lugar a sentencias con multas por varios millones de euros. A la vez, diversos colectivos y entidades están solicitando que se actualice y mejore el decreto estatal con el fin de incorporar las nuevas soluciones técnicas existentes y hacer que sean los propietarios de las líneas eléctricas los responsables de financiar las medidas de adecuación.

Algunos Gobiernos regionales y ONG, con frecuencia en el marco de proyectos de conservación financiados por la Unión Europea, han ido colaborando con compañías eléctricas para identificar y modificar o aislar líneas eléctricas peligrosas existentes e instalar nuevas líneas seguras. Así, en Andalucía, más de 30 000 postes han sido asegurados para las aves a lo largo de 5 000 kilómetros de líneas mediante técnicas

sencillas de corrección y un rediseño basado en recomendaciones científicas, gracias a un acuerdo de colaboración entre la principal compañía eléctrica y el Gobierno regional. Las medidas de corrección en líneas existentes incluyeron la sustitución de los aisladores rígidos por el tipo suspendido y la instalación de sistemas de aislamiento para evitar que las aves entren en contacto con los conductores. En el caso de las nuevas líneas, las medidas de prevención incluyeron la construcción de postes con aisladores suspendidos, evitando los puentes sobre el aislador y asegurando que las líneas eléctricas se construyeran lejos de las áreas de reproducción de especies protegidas. De esta manera se ha conseguido una reducción del 62% en las tasas de mortalidad del águila imperial en la región, a pesar del continuo aumento en la construcción de líneas eléctricas aéreas, ayudando a que la población de esta especie en Andalucía aumente desde las 22 parejas reproductoras registradas a principios de los años 1970 a las 164 parejas registradas en 2024 (CSMA, 2024).

Entre los proyectos LIFE de la Unión Europea que han financiado acciones de conservación relacionadas con la adecuación de tendidos eléctricos destacan los liderados por la ONG española GREFA “LIFE Bonelli” y “ÁQUILA a-LIFE”¹³, enfocados en el águila de Bonelli (*Aquila fasciata*). Gracias a ellos, cientos de líneas eléctricas que eran peligrosas han sido modificadas para hacerlas seguras para las aves, sumadas a las acondicionadas también gracias a acuerdos alcanzados con las compañías eléctricas (Figuras 9.16 B y C). Al asegurar cientos de soportes peligrosos, se ha producido un efecto directo sobre la conservación de la especie, con la reducción de la tasa de mortalidad debida a este factor al final del periodo de implementación, lo que ha permitido la creación de nuevos núcleos de población (GREFA, 2022, 2023).

Existen otros ejemplos de iniciativas de conservación de especies amenazadas que han logrado resultados significativos al mitigar este tipo de impacto. Por citar alguno más, en las islas Canarias se ha trabajado para contrarrestar las principales fuentes de mortalidad, entre las que están los accidentes con líneas eléctricas, del alimoche canario o guirre (*Neophron percnopterus majorensis*), una de las rapaces más amenazadas de Europa. Gracias también a un proyecto LIFE (LIFE04NAT/000067, 2004-2008), junto con un plan de recuperación puesto en marcha por el Gobierno regional (Cabrera

¹³ Para saber más sobre estos proyectos:

<https://www.lifebonelli.org/>; <https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/LIFE12-NAT-ES-000701/integral-recovery-of-bonellis-eagle-population-in-spain>
<https://www.aquila-a-life.org/>; <https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/LIFE16-NAT-ES-000235/accomplish-western-mediterranean-bonellis-eagle-recovery-by-working-together-for-an-electricity-grid-suitable-for-birds>

Pérez, 2016), se implementaron, entre otras, acciones directas como la corrección de soportes peligrosos y el balizamiento de líneas, que aparentemente mitigaron la mortalidad por enganches y colisiones de manera eficaz (Badia-Boher et al., 2019). Posteriormente, el proyecto “LIFE Egyptian Vulture”¹⁴, desarrollado en Canarias e Italia con la participación de empresas eléctricas de distribución (coordinado por la italiana e-distribuzione), reforzó la implantación de medidas en las líneas para evitar el riesgo de electrocución. Durante el proyecto, la empresa eléctrica canaria corrigió un total de 220 postes en las dos islas donde aún habita la especie. Esta intervención, junto con las realizadas en años anteriores, ha minimizado la mortalidad por electrocución, que hasta hace unos años era una de las principales amenazas, ya que estas aves utilizan los soportes como dormitorios o puntos de agregación nocturna (e-distribuzione, s.f.). Por estas y otras actuaciones complementarias, en 2021 la población de alimoche canario alcanzó los 402 ejemplares (191 adultos reproductores) (LIFE Egyptian Vulture, 2022) y, aunque la situación de la especie sigue siendo delicada, se confirma una tendencia creciente en las últimas décadas, desde las 20-30 parejas que quedaron en los años 2000-2005 (Cabrera Pérez, 2016).

Afortunadamente, gracias al ejemplo de estas y otras iniciativas y proyectos (como el trabajo de la Fundación Migres), a la presión ciudadana y de ONG (a través de, por ejemplo, la Plataforma SOS-Tendidos) y siguiendo el ejemplo de Andalucía, las grandes compañías eléctricas de España utilizan ya modelos selectivos y criterios de priorización como la mejor manera de reducir este problema (Ferrer et al., 1991; Ferrer, 2012; GREFA, 2022). En este sentido, la colaboración entre las compañías eléctricas, las instituciones de investigación científica y ciertas ONG especializadas en el tema (Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), GREFA, Endesa, Iberdrola y Red Eléctrica) se ha mostrado como fundamental para optimizar y probar la eficacia de las medidas de corrección de la electrocución y para determinar los criterios de priorización de las actuaciones.

El resultado final de esta cooperación entre gobiernos, organizaciones conservacionistas, científicos y compañías eléctricas es que España se encuentra probablemente a la vanguardia de los esfuerzos para abordar esta problemática, constituyendo un modelo a seguir en términos de legislación, colaboración, inversión y desarrollo tecnológico.

¹⁴ <https://www.lifegyptianvulture.it/es/>



Figura 9.16. A: línea eléctrica con configuración peligrosa para las aves en el Parque Nacional de Doñana; B: águila perdicera encontrada electrocutada por el equipo de AQUILA a-LIFE; C: técnicos de la compañía eléctrica modificando un poste peligroso. España. © Daniel Burón (A) y AQUILA a-LIFE-GREFA (B, C)

9.10. El proyecto “Corredores de vuelo”, mapa de sensibilidad de las líneas de transmisión de España

Marta García¹, Mónica Oleo² y Ángel Salinas²

¹ *Departamento de Medio Ambiente, Red Eléctrica de España*

² *Departamento de Gestión Sostenible, Redeia, España*

Entre 2010 y 2016 Red Eléctrica de España desarrolló el proyecto “Aves y líneas eléctricas: cartografía de corredores de vuelo”.

El objetivo principal del proyecto era delimitar cartográficamente los corredores de vuelo de especies de aves particularmente sensibles a las colisiones, identificando así las áreas de mayor riesgo de impacto sobre ellas. La cartografía generada se utilizaría como base en la toma de decisiones, por una parte, respecto al trazado de nuevas líneas eléctricas, buscando recorridos con el menor impacto ambiental posible; por otro, para priorizar acciones correctoras en líneas ya existentes, en concreto la instalación de dispositivos anticolidión.

El proyecto se desarrolló en todo el territorio español, creando un sistema de información geográfica (SIG) para cada una de las 17 comunidades autónomas, integrados en una plataforma nacional de SIG. Red Eléctrica (actualmente Redeia) puso a disposición de las respectivas autoridades ambientales toda la cartografía generada, actualizándose en 2021.

Las especies focales se eligieron en función de su interacción documentada o probable con las líneas eléctricas de alta tensión, su comportamiento gregario, patrones de movimiento predecibles y estado de conservación. La lista incluyó 52 especies entre aves esteparias, como la avutarda común (*Otis tarda*) o el sisón común (*Tetrax tetrax*), rapaces, como el buitre leonado (*Gyps fulvus*), quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) y águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*), limícolas, aves acuáticas y otras especies vulnerables a los impactos de estas infraestructuras. Para la obtención de

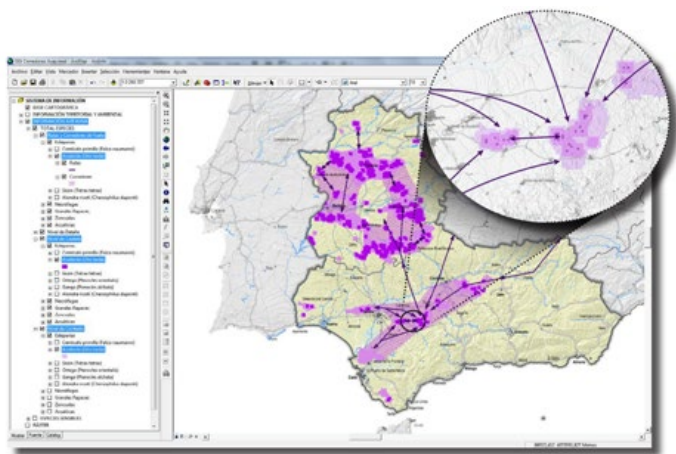


Figura 9.17. Captura la cartografía generada por el proyecto, mediante el programa ArcGIS. © Redeia

la información se recurrió a publicaciones existentes, solicitándose además datos precisos sobre esas especies a las autoridades ambientales de las respectivas comunidades autónomas.

Los resultados se estructuraron en tres herramientas principales. La primera, el propio SIG resultado de la recopilación de datos ambientales y de avifauna a partir de la información primaria, creando un mapa a escala 1x1 km de cuadrículas UTM de la presencia de las especies sensibles, el cual incorpora además información sobre rutas y corredores de vuelo conocidos, así como zonas regularmente sobrevoladas por las aves y la altura media de vuelo (dato importante ya que los vuelos a gran altura presentan un riesgo de colisión generalmente menor) (Figura 9.17).

La segunda herramienta desarrollada por el proyecto a partir de los SIG territoriales y aplicando una metodología expresamente desarrollada para el proyecto, es un conjunto de mapas de sensibilidad basados en la distribución espacial y los patrones de agregación de las 52 especies focales. Estos mapas se construyeron ponderando cada especie según un coeficiente de sensibilidad calculado a partir de factores biológicos, conductuales y de conservación, como el comportamiento de vuelo, la morfología y el estado de amenaza. Realizando análisis avanzados se identificaron tres tipos de áreas: de alta, media o baja sensibilidad. Las áreas de alta sensibilidad se caracterizan por concentraciones significativas de especies focales, las de sensibilidad media tienen presencia de esas especies, pero sin fuertes agregaciones, y en las de baja sensibilidad no están presentes especies focales (Figura 9.18).

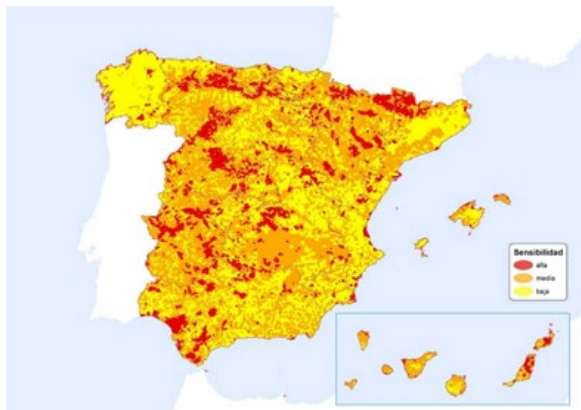


Figura 9.18. Mapa de sensibilidad producido para el territorio español, basado en la distribución espacial y los patrones de agregación de las 52 especies focales, con tres grados de sensibilidad diferenciados: rojo: sensibilidad alta, naranja: sensibilidad media y amarilla: sensibilidad baja. © Redeia

El tercer componente son los mapas de riesgo de colisión. Estos mapas combinan los datos de sensibilidad con factores espaciales adicionales que aumentan la probabilidad de colisión. Entre dichos factores se incluyen elementos que atraen a las aves (como vertederos o humedales), rasgos del terreno que canalizan las rutas de vuelo (como valles o corredores fluviales), condiciones climáticas (como niebla frecuente) y la presencia de otras infraestructuras de alto riesgo como parques eólicos; también se tienen en cuenta los registros históricos de colisiones. El índice de riesgo resultante se calcula a nivel de cuadrícula 1x1 km, de manera que, superponiendo la red de transmisión sobre esta matriz de riesgo, se puede evaluar el riesgo para tramos individuales de línea. Esto posibilita la identificación de los vanos más peligrosos, permitiendo dirigir los recursos de manera eficiente hacia las áreas donde las medidas correctoras tendrían un mayor impacto en la conservación de las aves.

Desde su creación, esta herramienta ha ido dirigiendo el plan plurianual de señalización de líneas eléctricas de la compañía, habiendo conseguido el objetivo de completar el marcado o señalización del 100% de los vanos en zonas de prioridad crítica en 2025.

Más información:

<https://www.redeia.com/es/sostenibilidad/naturaleza/compromiso-con-biodiversidad>

<https://www.ree.es/es/sostenibilidad/medio-ambiente/proteccion-avifauna>

https://www.ree.es/sites/default/files/page/2022/11/file/Proyecto_Cartografia_de_corredores_de_vuelo_Edicion-2022.pdf



Referencias

- Acklen, J. C., Dwyer, J. F., Kowalski, K. y Goldberg J. (2020). Can drones help prevent collisions? An unmanned aircraft system successfully deploys power line markers on T&D spans over open water to reduce Bald Eagle collision risks. *Transmission and Distribution World*, 72, 36-40.
- Agencia Internacional de la Energía (AIE) (2020). *World Energy Outlook 2020*. AIE. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020/overview-and-key-findings>
- AIE (2023a). *Electricity Grids and Secure Energy Transitions. Enhancing the foundations of resilient, sustainable and affordable power systems*. AIE. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/70f2de45-6d84-4e07-bfd0-93833e205c81/ElectricityGridsandSecureEnergyTransitions.pdf>
- AIE (2023b). *Latin America Energy Outlook 2023*. AIE. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/latin-america-energy-outlook-2023>
- AIE (2024). *Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028*. AIE. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>
- AIE (2025). *Electricity 2025*. AIE. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/electricity-2025>
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR) (2022). *Atlas del sector eléctrico del Ecuador*. Agencia de Regulación y Control de Electricidad, Gobierno del Ecuador. https://arconel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/01/Atlas-2022_baja.pdf
- Aguiar-Silva, F. H., Sanaïotti, T. M., Jaudoin, O., Martins, F. D., Vasconcelos, D. y Peres, V. S. (2014). Remoção e reintegração de gavião-real em área de conflito no pará: conservação na volta grande do rio Xingu. *Libro de resúmenes del I Simposio Internacional y V Encuentro del Programa de Posgrado en Biodiversidad Tropical* (pp. 25-26). 07-09 de octubre, Macapá, Brasil. https://ppgbiococonservation.weebly.com/uploads/2/7/5/7/27576775/abstract_book_ppgbio2014.pdf
- Alonso, J. C., Alonso, J. A. y Muñoz-Pulido, R. (1994). 'Mitigation of bird collisions with transmission lines through groundwire marking'. *Biological Conservation* 67(2), 129-134. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(94\)90358-1](https://doi.org/10.1016/0006-3207(94)90358-1)
- Alonso, J. C., Abril-Colón, I., Uceró, A. y Palacín, C. (2024). Anthropogenic mortality threatens the survival of Canarian houbara bustards. *Scientific Reports*, 14(1), 2056. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52641-z>
- Al-Razi H., Maria, M. y Muzaffar, S.B. (2019). Mortality of primates due to roads and power lines in two forest patches in Bangladesh. *Zoologia*, 36, 1-6. <https://doi.org/10.3897/zoologia.36.e33540>
- Angelov, I., Hashim, I. y Oppel, S. (2013). Persistent electrocution mortality of Egyptian Vultures *Neophron percnopterus* over 28 years in East Africa. *Bird Conservation International*, 23(1), 1-6. <https://doi.org/10.1017/S0959270912000123>
- Antal, M. (2010). Policy measures to address bird interactions with power lines – a comparative case study of four countries. *Ostrich*, 81(3), 217-223. <https://doi.org/10.2989/00306525.2010.517921>

- Arauz-Abrego, E. (2002). *Interacción de la fauna silvestre y la red de distribución eléctrica en Costa Rica: Evaluación y soluciones de manejo* [Tesis]. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Arlidge, W. N. S., Bull, J. W., Addison, P. F. E., Burgass, M. J., Gianuca, D., Gorham, T. M., ... Milner-Gulland, E. J. (2018). A global mitigation hierarchy for nature conservation. *BioScience*, 68(5), 336-347. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy029>
- Avian Power Line Interaction Committee (APLIC) (2006). *Suggested Practices for Avian Protection on Power Lines: the State of the Art in 2006*. Edison Electric Institute y APLIC. <http://www.nrc.gov/docs/ML1224/ML12243A391.pdf>
- APLIC (2012). *Reducing avian collisions with power lines: the state of the art in 2012*. Edison Electric Institute y APLIC. https://www.aplic.org/uploads/files/11218/Reducing_Avian_Collisions_2012watermarkLR.pdf
- APLIC y Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (USFWS, por sus siglas en inglés) (2005). *Avian protection plan (APP) guidelines*. https://www.aplic.org/uploads/files/2634/APPguidelines_final-draft_Aprl2005.pdf
- Ayrton, H. (2012). *The electric arc*. Cambridge University Press.
- Azkona, P., Fernández, C., Moreno, I., Olalde, M. y de Bergareche, J. C. (2023). Conditioning fledgling Bonelli's Eagles (*Aquila fasciata*) to avoid power line pylons. *Journal of Raptor Research*, 57(4), 533-543. <https://doi.org/10.3356/JRR-22-00108>
- Baasch, D. M., Hegg, A. M., Dwyer, J. F., Caven, A. J., Taddicken, W. E., Worley, C. A., ... Mittman, N. D. (2022). Mitigating avian collisions with power lines through illumination with ultraviolet light. *Avian Conservation and Ecology*, 17(2), 9. <https://doi.org/10.5751/ACE-02217-170209>
- Badia-Boher, J. A., Sanz-Aguilar, A., De la Riva, M., Gangoso, L., Van Overveld, T., García-Alfonso, M., ... Donázar, J. A. (2019). Evaluating European LIFE conservation projects: Improvements in survival of an endangered vulture. *Journal of Applied Ecology*, 56(5), 1210-1219. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13350>
- Ballester, C., Dupont, S. M., Corbeau, A., Chambert, T., Duriez, O., y Besnard, A. (2024). A standardized protocol for assessing the performance of automatic detection systems used in onshore wind power plants to reduce avian mortality. *Journal of Environmental Management*, 354. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120437>
- Balmori, A. (2015). Anthropogenic radiofrequency electromagnetic fields as an emerging threat to wildlife orientation. *Science of the Total Environment*, 518-519, 58-60. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.077>
- Barnes, T. A., Dwyer, J. F., Mojica, E. K., Petersen, P. A. y Harness, R. E. (2022). Wildland fires ignited by avian electrocutions. *Wildlife Society Bulletin*, 46, e1302. <https://doi.org/10.1002/wsb.1302>
- Barrientos, R., Alonso, J. C., Ponce, C. y Palacín, C. (2011). Meta-analysis of the effectiveness of marked wire in reducing avian collisions with power lines. *Conservation Biology*, 25(5), 893-903. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01699.x>

- Barrientos, R., Ponce, C., Palacín, C., Martín, C. A., Martín, B. y Alonso, J. C. (2012). Wire marking results in a small but significant reduction in avian mortality at power lines: a BACI designed study. *PLoS One* 7(3), e32569. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032569>
- Barrientos, R., Martins, R. C., Ascensão, F., D'Amico, M., Moreira, F. y Bordade-Água, L. (2018). A review of searcher efficiency and carcass persistence in infrastructure-driven mortality assessment studies. *Biological conservation*, 222, 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.04.014>
- Bartzke, G. S., May, R., Solberg, E. J., Rolandsen, C. M. y Røskft, E. (2015). Differential barrier and corridor effects of power lines, roads and rivers on moose (*Alces alces*) movements. *Ecosphere*, 6, 1-17. <https://doi.org/10.1890/ES14-00278.1>
- Bateman, B. L., Moody, G., Fuller, J., Taylor, L., Seavy, N., Grand, J., ... Rose, S. (2023) *Audubon's Birds and Transmission Report: Building the Grid Birds Need*. National Audubon Society. <https://media.audubon.org/2023-08/BirdsAndTransmissionReport.pdf>.
- BBC News (2016, 7 de junio). Kenya nationwide blackout caused by rogue monkey. *BBC News* [Noticia en línea]. <https://www.bbc.com/news/world-africa-36475667>
- Bedrosian, G., Carlisle, J. D., Woodbridge, B., Dunk, J. R., Wallace, Z. P., Dwyer, J. F., ... Jones, T. (2020). A spatially explicit model to predict the relative risk of Golden Eagle electrocutions in the Northwestern Plains, USA. *Journal of Raptor Research*, 54(2), 110-125. <https://doi.org/10.3356/0892-1016-54.2.110>
- Benítez-López, A., Alkemade, R. y Verweij, P. A. (2010). The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. *Biological Conservation*, 143(6), 1307-1316. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.02.009>
- Bennett, A. J., Watson, D. M., y Watson, M. J. (2025). Positive and negative impacts of electrical infrastructure on animal biodiversity: A systematic review. *Oecologia*, 207(1), 142. <https://doi.org/10.1007/s00442-025-05780-7>
- Bennun, L., van Bochove, J., Ng, C., Fletcher, C., Wilson, D., Phair, N. y Carbone, G., (2021). *Mitigar los impactos de los proyectos de energía solar y eólica sobre la biodiversidad. Síntesis y mensajes clave*. UICN y The Biodiversity Consultancy. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.06.es>
- Bennun, L., Fletcher, C., Cook, A., Wilson, D., Jobson, B., Asante-Owusu, R., ... Liu, Q. (2024). *Guía sobre la evaluación de impacto acumulativo en la biodiversidad para desarrollos eólicos y solares e infraestructura asociada*. UICN y The Biodiversity Consultancy. <https://doi.org/10.2305/NNRQ8638>
- Bennun, L., Fletcher, C., Cook, A., Wilson, D., Jobson, B., Asante-Owusu, R., ... Liu, Q. (2025). *Planificación espacial para desarrollos eólicos y solares e infraestructura asociada. Nota técnica*. UICN y The Biodiversity Consultancy. <https://portals.iucn.org/library/node/52544>
- Bernardino, J., Bevanger, K., Barrientos, R., Dwyer, J. F., Marques, A. T., Martins, R. C., ... Moreira, F. (2018). Bird collisions with power lines: State of the art and priority areas for research. *Biological Conservation*, 222, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.02.029>

- Bernardino, J., Martins, R. C., Bispo, R., y Moreira, F. (2019). Re-assessing the effectiveness of wire-marking to mitigate bird collisions with power lines: A metaanalysis and guidelines for field studies. *Journal of environmental management*, 252, 109651. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109651>
- Bernardino, J., Bispo, R., Martins, R. C., Santos, S. y Moreira, F. (2020). Response of vertebrate scavengers to power line and road rights-of-way and its implications for bird fatality estimates. *Scientific Reports*, 10, 15014. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72059-7>
- Bernardino, J., Martins, R. C., Bispo, R., Marques, A. T., Mascarenhas, M., Silva, R. y Moreira, F. (2022). Ecological and methodological drivers of persistence and detection of bird fatalities at power lines: insights from multi-project monitoring data. *Environmental Impact Assessment Review*, 93, 106707. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106707>
- Berndt, J. (2015). *Martial Eagles and the national power grid in South Africa: the implications of pylon-nesting for conservation management* [Tesis de maestría]. Universidad de Ciudad del Cabo, Sudáfrica.
- Bernotat, D., Rogahn, S., Rickert, C., Follner, K. y Schönhof, C. (2018). *BfN-Arbeitshilfe zur arten- und gebietsschutzrechtlichen Prüfung bei Freileitungsvorhaben*. BfN-Skripten, 512, 200 S. Bundesamt für Naturschutz. <https://doi.org/10.19217/skr512>
- Bernotat, D. y Dierschke, V. (2021). *Übergeordnete Kriterien zur Bewertung der Mortalität wildlebender Tiere im Rahmen von Projekten und Eingriffen. Teil II.1: Arbeitshilfe zur Bewertung der Kollisionsgefährdung von Vögeln an Freileitungen. 4. Fassung, Stand 31.08.2021*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20943.61605>
- Bevanger, K. (1994). Bird interactions with utility structures: collision and electrocution, causes and mitigation measures. *Ibis*, 136(4), 412-425. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1994.tb01116.x>
- Bevanger, K. (1998). Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. *Biological Conservation*, 86, 67-76. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(97\)00176-6](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(97)00176-6)
- Biasotto, L. D. y Kindel, A. (2018). Power lines and impacts on biodiversity: A systematic review. *Environmental Impact Assessment Review*, 71, 110-119. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.04.010>
- Biasotto, L. D., Moreira, F., Bencke, G. A., D'Amico, M., Kindel, A. y Ascensão, F. (2021). Risk of bird electrocution in power lines: a framework for prioritizing species and areas for conservation and impact mitigation. *Animal Conservation*, 25(2), 285-296. <https://doi.org/10.1111/acv.12736>
- Biasotto, L. D., Becker, F. G., Nóbrega, R. A. A. y Kindel, A. (2022). Routing power lines: Towards an environmental and engineering friendly framework for avoiding impacts and conflicts in the planning phase. *Environmental Impact Assessment Review*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106797>
- Biasotto, L. D., Pacífico, E. C., Paschotto, F. R., Filadelfo, T., Couto, M. B., Sousa, A. E. B., ... Kindel, A. (2023). Power line electrocution as an overlooked threat to Lear's Macaw (*Anodorhynchus leari*). *Ibis*, 165(3), 998-1006. <https://doi.org/10.1111/ibi.13139>

- BirdLife Cyprus y Game and Fauna service (2023). *3rd Annual Report on Griffon Vulture Breeding Monitoring Programme and the Population Status in 2022 LIFE PROGRAMME: LIFE with Vultures CY (2019-2023)*. LIFE18 NAT/CY/001018. BirdLife Cyprus. https://lifewithvultures.eu/wp-content/uploads/sites/2/2024/04/Identification-of-HighRisk-Powerlines_Report.pdf
- BirdLife International (2015). *Guidance on appropriate means of impact assessment of electricity power grids on migratory soaring birds in the Rift Valley/Red Sea Flyway*. Regional Flyway Facility. https://files.ceqanet.lci.ca.gov/123569-2/attachment/XTVHe_pBe-IWVr9wiX0qlO8bVgWSC3nrymG3HAC1iVo4ZH0BMH1yFjY-qkmEWZJbfnFIYw9qSVG8W7CYQ
- BirdLife International (2024). *Buteogallus coronatus*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2024: e.T22695855A246532305. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2024-2.RLTS.T22695855A246532305.en> (Consultado el 21 de diciembre de 2025).
- BirdLife International (2025). *AVISTEP: the Avian Sensitivity Tool for Energy Planning. Technical Manual Version 2*. BirdLife International. <https://avistep.birdlife.org/AVISTEPTechnicalManual.pdf>
- Biscaia, E., Bernardino, J. y Bispo, R. (2025). An Approach for Predicting Spatially Indexed Carcass Persistence Probability to Estimate Bird Mortality at Power Lines. En: Henriques-Rodrigues, L., Menezes, R., Machado, L. M., Faria, S., de Carvalho, M. (Eds.). *New Frontiers in Statistics and Data Science: SPE2023, Guimarães, Portugal, October 11-14*, 469, 169. https://doi.org/10.1007/978-3-031-68949-9_13
- Boinski, S., Jack, K., Lamarsh, C. y Coltrane, J.A. (1998). Squirrel Monkeys in Costa Rica: Drifting to Extinction. *Oryx*, 32(1), 45-58. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3008.1998.00017.x>
- Boland, K. C., Lawson, A. J., Osterhaus, D. M., Cutler, P. L., Davidson, G. A. y Desmond, M. J. (2026). Carcass Size and Ground Substrate Drive Detection Rates of Avian Carcasses by Human Surveyors and a Dog Team. *Global Ecology and Conservation*, e04148. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2026.e04148>
- Borner, L. (2016). *Apports méthodologiques à l'étude des interactions des oiseaux avec le réseau de transport d'électricité en France* [Tesis de doctorado]. Museo Nacional de Historia Natural, París, Francia.
- Borner, L., Duriez, O., Besnard, A., Robert, A., Carrere, V. y Jiguet, F. (2017). Bird collision with power lines: estimating carcass persistence and detection associated with ground search surveys. *Ecosphere*, 8(11), e01966. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1966>
- Botha, A. J., Andevski, J., Bowden, C. G. R., Gudka, M., Safford, R. J., Tavares, J. y Williams, N. P. (2017). *Multi-species Action Plan to Conserve African-Eurasian Vultures (Vulture MsAP)*. CMS Raptors MOU Technical Publication No. 5. CMS Technical Series No. 35. Coordinating Unit of the CMS Raptors MOU. Disponible en: <https://raptors.cms.int/publication/multi-species-action-plan-conserve-african-eurasian-vultures-vulture-msap-cms-technical>
- Bright, J., Langston, R., Bullman, R., Evans, R., Gardner, S. y Pearce-Higgins, J. (2008). Map of bird sensitivities to wind farms in Scotland: a tool to aid planning and conservation. *Biological Conservation*, 141(9), 2342-2356. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.06.029>

- Brown, W. M. y Drewien, R. C. (1995). Evaluation of Two Power Line Markers to Reduce Crane and Waterfowl Collision Mortality. *Wildlife Society Bulletin*, 23(2), 217-227. <http://www.jstor.org/stable/3782794>
- Burgio, K. R., Rubega, M. A. y Sustaita, D. (2014). Nest-building behavior of Monk Parakeets and insights into potential mechanisms for reducing damage to utility poles. *PeerJ*, 2, e601 <https://doi.org/10.7717/peerj.601>
- Burnside, R. J., Collar, N. J., Koshkin, M. A. y Dolman, P. M. (2015). Avian powerline mortalities, including Asian Houbara *Chlamydotis macqueenii*, on the Central Asian flyway in Uzbekistan. *Sandgrouse*, 37, 161-168. <https://osme.org/wp-content/uploads/2023/07/Avian-powerline-mortalities-including-Asian-Houbaras-Chlamydotis-macqueenii-on-the-Central-Asian-flyway-in-Uzbekistan.pdf>
- Cabrera Pérez, M. A. (2016, 15 y 16 de diciembre). *Plan de recuperación del guirre mayorero. Situación actual y propuesta de futuro* [Ponencia]. XIV Conferencia Atlántica de Medio Ambiente, Puerto del Rosario, Fuerteventura, España. https://www.cabildofuer.es/documentos/Medio_ambiente/CAMA/2016/ponencia_plan_recuperacion_guirre.pdf
- Cantlay, J. C., Portugal, S. J. y Martin, G. R. (2025). Visual fields, foraging and collision vulnerability in gulls (Laridae). *Ibis*, 167(2), 386-396. <https://doi.org/10.1111/ibi.13360>
- Carrascal, L. M., GREFA y Gómez-Catasús, J. (2016). *Cuantificación del impacto que los tendidos eléctricos propiedad de Red Eléctrica de España (eje 66 kV) en las Islas Orientales Canarias tienen sobre la mortandad de aves. Convenio para la realización de actividades de apoyo tecnológico. Informe final* [No publicado]. REE.
- Cartron, J. E., Garber, G. L., Finley, C., Rustay, C., Kellermueller, R., Day, M. P., ... Stoleson, S. H. (2000). Power pole casualties among raptors and ravens in northwestern Chihuahua, Mexico. *Western Birds*, 31(4), 255-257. <https://journal.westernfieldornithologists.org/index.php/westernbirds/issue/view/178>
- Cartron, J. E., Harness, R. E., Rogers, R. C. y Manzano-Fischer, P. (2005). Impact of concrete power poles on raptors and ravens in northwestern Chihuahua, Mexico. En: Cartron, J. E., Ceballos, G. y Stephen-Felger, R. (Eds.) *Biodiversity, ecosystems and conservation in Northern Mexico* (pp. 357-369). Oxford University Press.
- Cartron, J. E., Rodríguez-Estrella, R., Rogers, R. C., Rivera-Rodríguez, L. B. y Granados Ruíz, J. B. (2006). Raptor and raven electrocutions in northwestern Mexico: A preliminary regional assessment of the impact of concrete poles. En: Rodríguez-Estrella, R. (Ed.) *Current Raptor Studies in Mexico* (pp. 202-230). CIBNOR-CONABIO.
- Castellanos, A., Ortega-Rubio, A. y Argüelles-Méndez, C. (1999). Respuesta de la población de águilas pescadoras a la disponibilidad de lugares artificiales de nidificación en las lagunas de Ojo de Liebre y Guerrero Negro, Península de Baja California. En: Ferrer, M. y Janss, G.F.E. (Coord.) *Aves y líneas eléctricas* (pp. 175-186). Editorial Quercus.
- Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO) (2020). *Manual para a monitorização de impactes de linhas de muito alta tensão sobre a avifauna e avaliação da eficácia das medidas de mitigação*. Cátedra REN em Biodiversidade. Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos da Universidade do Porto. Vairão. Disponible en: <https://www.catedraren-pt.com/guias>

- Cerezo, E., Aledo, E. y Manso, A. (2010). *Patrimonio Natural y Líneas Eléctricas en la Región de Murcia*. Proyecto LIFE06NAT/E/000214 'Corrección de tendidos eléctricos peligrosos en Zonas de Especial Protección para las Aves de la Región de Murcia', serie técnica nº 8. Dirección General de Patrimonio Natural y Biodiversidad, Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia.
- Chancellor, R. D. (1977). *World Conference on Birds of Prey, held in Vienna, Wednesday, 1 October - Friday, 3 October 1975: report of proceedings*. Consejo Internacional para la Protección de las Aves. <https://portals.iucn.org/library/node/5908>
- Chaves, Ó. M., Souza Júnior, J. C., Buss, G., Hirano, Z. M. B., Jardim, M. M. A., Amaral, E. L. S., ... Bicca-Marques, J. C. (2022). Wildlife is imperiled in peri-urban landscapes: threats to arboreal mammals. *Science of The Total Environment*, 821, 152883. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152883>
- Chelghoum, S. (2019, febrero). Stork protection device to be installed on the electricity transmission network (experience and prospects in grte/Setif). En: *2019 Algerian Large Electrical Network Conference (CAGRE)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CAGRE.2019.8713306>
- Chevallier, C., Hernández-Matías, A., Real, J., Vincent-Martin, N., Ravayrol, A. y Besnard, A. (2015). Retrofitting of power lines effectively reduces mortality by electrocution in large birds: an example with the endangered Bonelli's eagle. *Journal of Applied Ecology*, 52(6), 1465-1473. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12476>
- Chouhan, R. y Shrivastava, S. (2019). Observation on electrocution of Indian flying fox (*Pteropus giganteus*) in Ramganjmandi, Kota (Rajasthan) and their conservation strategies. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 2(5), 648-649. https://www.ijresm.com/Vol.2_2019/Vol2_Iss5_May19/IJRESM_V2_I5_168.pdf
- Clarke, D. J., Pearce, K. A. y White, J. G. (2006). Powerline corridors: degraded ecosystems or wildlife havens? *Wildlife Research* 33(8), 615-626. <https://doi.org/10.1071/WR05085>
- Coates, P. S., O'Neil, S. T., Brussee, B. E., Ricca, M. A., Jackson, P. J., Dinkins, J. B., ... Delehanty, D. J. (2020). Broad-scale impacts of an invasive native predator on a sensitive native prey species within the shifting avian community of the North American Great Basin. *Biological Conservation*, 243, 108409. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108409>
- Código Orgánico del Ambiente [Ministerio del Ambiente]. Registro Oficial Suplemento 983, 12 de abril de 2017. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_C%C3%B3digo-Org%C3%A1nico-Ambiente.pdf
- Collar, N. J., Baral, H. S., Batbayar, N., Bhardwaj, G. S., Brahma, N., Burnside, R. J., ... Kessler, A. E. (2017). Averting the extinction of bustards in Asia. *Forktail*, 33, 1-26. https://eurasianbustardalliance.org/wp-content/uploads/2019/10/Collar-et-al_2017_Asian-Bustard-Extinction-1.pdf
- Collar, N. J. y Kessler, M. (2024). Preservation of major migratory populations of Asian Houbara *Chlamydotis macqueenii* requires undergrounding of Uzbekistan's Kungrad powerline. *Sandgrouse*, 46, 62-69. https://www.academia.edu/download/115977026/Collar_Kessler_2024_Asian_Houbara_needs_burial_of_Uzbekistan_s_Kungrad_powerline.pdf

- Colman, J. E., Eftestøl, S., Tsegaye, D., Flydal, K. y Mysterud, A. (2012). Is a wind-powerplant acting as a barrier for reindeer *Rangifer tarandus tarandus* movements? *Wildlife Biology*, 18(4), 439-445. <https://doi.org/10.2981/11-116>
- Comisión Europea (2018). *Guidance on energy transmission infrastructure and EU nature legislation*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/827210>
- Comité de Estándares y Peticiones de la UICN (2019). *Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 16*. Preparado por el Comité de Estándares y Peticiones. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org/es/resources/redlistguidelines>
- Comisión Federal de Electricidad (CFE) (2024). *Información financiera trimestral. Reporte trimestral 3Q 2024*. CFE. <https://www.cfe.gob.mx/finanzas/reportes-financieros/Reportes%20Trimestrales%20Documentos/Reporte%20Trimestral%203Q%202024.pdf>
- Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente (CSMA) (2024). *Plan de recuperación del águila imperial ibérica Aquila adalberti. Ficha resumen actuaciones 2024*. CSMA, Junta de Andalucía. https://portalrediam.cica.es/repositorio/09_PLANIFICACION/08_PLANES_RECUCONS_ESPECIES/plan_aguila_imperial/Documentos/Seguimiento/Fichas/AguilaImperial_Ficha_rep_2024.pdf
- Constantini, D., Gustin, M., Ferrarini, A. y Dell'Omo, G. (2017). Estimates of avian collision with power lines and carcass disappearance across differing environments. *Animal Conservation*, 20(2), 173-181. <https://doi.org/10.1111/acv.12303>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y Plataforma intergubernamental científico-normativa sobre diversidad biológica y servicios de los ecosistemas (IPBES) (2019, 6 de mayo). *IPBES: El cambio climático es un factor clave para la extinción de especies*. Noticias ONU Cambio Climático. <https://unfccc.int/es/news/ipbes-el-cambio-climatico-es-un-factor-clave-para-la-extincion-de-especies>
- Convención sobre Especies Migratorias (CMS) (s.f.). *Migratory Species and Infrastructure*. Secretaría de la CMS [Sitio web]. Extraído el 20 de julio de 2020 de <https://www.cms.int/en/species/threats/infrastructure>
- CMS Energy Task Force (ETF) y BirdLife International (s.f.). *Transmit. The evidence-based toolkit for mitigating powerline-related avian mortality*. DataZone by BirdLife. Extraído el 20 de julio de 2024 de <https://datazone.birdlife.org/tools/transmit>
- Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP) (s.f.). *Unidad de Negocio Transelectric* [Sitio web]. Extraído el 20 de diciembre de 2025 de <https://www.celec.gob.ec/transelectric/>
- Corrêa, F. M., Chaves, Ó. M., Printes, R. C. y Romanowski, H. P. (2018). Surviving in the urban-rural interface: Feeding and ranging behavior of Brown Howlers (*Alouata guariba clamitans*) in an urban fragment in southern Brazil. *American Journal of Primatology*, 80(6), e22865. <https://doi.org/10.1002/ajp.22865>

- Cortes-Ortiz, L., Rosales-Meda, M., Williams-Guillén, K., Solano-Rojas, D., Méndez-Carvajal, P.G., de la Torre, S., ... Cornejo, F.M. (2021). *Alouatta palliata* (versión modificada de la evaluación de 2020). *Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN* 2021: e.T39960A190425583. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T39960A190425583.en>. (Consultado el 17 de julio de 2025).
- Crespo-Luengo, G., Hernández-Lambraño, R. E., Barbero-Bermejo, I. y Sánchez-Agudo, J. Á. (2020). Analysis of spatio-temporal patterns of Red Kite *Milvus milvus* electrocution. *Ardeola*, 67(2), 247-268. <https://doi.org/10.13157/arla.67.2.2020.ra2>
- Crivelli, A. J., Jerrentrup, H. y Mitchev, T. (1988) Electric Power Lines: A Cause of Mortality in *Pelecanus crispus* Bruch, a World Endangered Bird Species, in Porto-Lago, Greece. *Colonial Waterbirds*, 11(2), 301-305. Disponible en: <https://doi.org/10.2307/1521012>
- Cross-Sector Biodiversity Initiative (CSBI) y The Biodiversity Consultancy (TBC) (2015). A *crosssector guide to implementing the Mitigation Hierarchy*. CSBI. https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/environmental-stewardship/2015/guidance_mitigation-hierarchy.pdf
- Cruz, M. G., Sullivan, A. L., Gould, J. S., Sims, N. C., Bannister, A. J., Hollis, J. J. y Hurley, R. J. (2012). Anatomy of a catastrophic wildfire: the Black Saturday Kilmore East fire in Victoria, Australia. *Forest Ecology and Management*, 284, 269-285. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.02.035>
- Cunneynworth, P. M. y Slade, A. M. (2021). Impact of electric shock and electrocution on populations of four monkey species in the suburban town of Diani, Kenya. *International Journal of Primatology*, 42(2), 171-186. <https://doi.org/10.1007/s10764-020-00194-z>
- Dalthorp, D., Madsen, L., Huso, M., Rabie, P., Wolpert, R., Studyvin, J., ... Mintz, J. (2018a). *GenEst statistical models—A generalized estimator of mortality*. Book 7, chap. A2. U.S. Geological Survey Techniques and Methods. <https://doi.org/10.3133/tm7A2>
- Dalthorp, D. H., Simonis, J., Madsen, L., Huso, M. M., Rabie, P., Mintz, J. M. ... Korner-Nievergelt, F. (2018b). *Generalized Mortality Estimator (GenEst) - R code and GUI*. U.S. Geological Survey Software Release [Sitio web]. <https://doi.org/10.5066/P9O9BATL>. (Consultado el 20 de julio de 2020)
- D'Amico, M., Catry, I., Martins, R. C., Ascensão, F., Barrientos, R. y Moreira, F. (2018). Bird on the wire: Landscape planning considering costs and benefits for bird populations coexisting with power lines. *Ambio*, 47, 650-656. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1025-z>
- D'Amico, M., Martins, R. C., Álvarez-Martínez, J. M., Porto, M., Barrientos, R. y Moreira, F. (2019). Bird collisions with power lines: Prioritizing species and areas by estimating potential population-level impacts. *Diversity and Distributions*, 25(6), 975-982. <https://doi.org/10.1111/ddi.12903>
- Daniel-Ferreira, J., Bommarco, R., Wissman, J. y Öckinger, E. (2021, 3 de marzo). *Power line corridors put the brakes on the extinction of plants in declining semi-natural grassland habitats*. TransportEcology.info. <https://transportecology.info/research/plants-in-powerline-corridors>. (Consultado el 15 marzo de 2021)

- Dashnyam, B., Purevsuren, T., Amarsaikhan, S., Bataa, D., Buuveibaatar, B. y Dutson, G. (2016). Malfunction rates of bird flight diverters on powerlines in the Mongolian Gobi. *Mongolian Journal of Biological Sciences*, 14(1-2), 13-20. <http://dx.doi.org/10.22353/mjbs.2016.14.02>
- De Goede, K. y Jenkins, A. (2001). Electric Eagles of the Karoo. *Africa: Birds & Birding* 6(4), 62-67.
- de la Cova, R. R. L. (1997). Impacto de los tendidos eléctricos sobre la avifauna en Castilla-La Mancha. Determinación de un índice de valoración de la peligrosidad de tendidos eléctricos para aves rapaces. *Actas del II Congreso Forestal Español*, 23-27 de junio, Pamplona, España.
- de Pablo, F. (2017). *Electrocución de aves en tendidos eléctricos en Reserva de la Biosfera de Menorca. Años 2016-17. Informe técnico 06/2017*. Departament de Medi Ambient i Reserva de Biosfera, Consell Insular de Menorca.
<https://www.menorcabiosfera.org/documents/documents/1984doc2.pdf>
- De Vito, S., Del Giudice, A. y Di Francia, G. (2024). Electric transmission and distribution network air pollution. *Sensors*, 24(2), 587. <https://doi.org/10.3390/s24020587>
- Decreto 194/1990, de 19 de junio [Junta de Andalucía]. Por el que se establecen normas de protección de la Avifauna para la instalaciones eléctricas de alta tensión con conductores no aislados. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, 79, de 21 de septiembre de 1990.
<https://www.juntadeandalucia.es/boja/1990/79/boletin.79.pdf>
- Decreto 30 de 2012 [Ministerio del Medio Ambiente]. Aprueba Reglamento sobre Programas de Cumplimiento, Autodenuncia y Planes de Reparación. 20 de agosto de 2012. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1048783>
- Decreto Ejecutivo 1761 [Presidente Constitucional de la República del Ecuador]. Promulga el Reglamento Ambiental para Actividades Eléctricas. Registro Oficial 396, de 23 de agosto de 2001. Disponible en: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu79498.pdf>
- Decreto Supremo 79 de 2018 [Ministerio del Medio Ambiente]. Aprueba y oficializa clasificación de especies según estado de conservación, decimocuarto proceso. 2 de agosto de 2018. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1126824>
- Demerdzhiev, D. A. (2014). Factors influencing bird mortality caused by power lines within Special Protected Areas and undertaken conservation efforts. *Acta zoologica Bulgarica*, 66(2), 411-423. <http://rrrcn.ru/wp-content/uploads/reports/lep2014/Demerdzhev-2014.pdf>
- Demeter, I., Horváth, M., Nagy, K., Görögh, Z., Tóth, P., Bagyura, J., ... Harness, R.E. (2018). Documenting and reducing avian electrocutions in Hungary: a conservation contribution from citizen scientists. *The Wilson Journal of Ornithology* 130(3), 600-614.
<https://doi.org/10.1676/17-031.1>
- DePerno, C. S., Bigalke, B. J., Jenks, J. A., Haroldson, B. S. y Osborn, R. G. (2005). Electrocution of an Adult White-Tailed Deer. *The Prairie Naturalist*, 37,47-49. Disponible en: <https://digitalcommons.unl.edu/tpn/255/>
- Derouaux, A., Everaert, J., Brackx, N., Driessens, G., Martin Gil, A. y Paquet, J.-Y. (2012). *Reducing bird mortality caused by high- and very-high-voltage power lines in Belgium, final report*. Elia y Aves-Natagora. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.11066.90562>

- Derouaux, A., Verbelen, D., Devos K. y Paquet J.-Y. (2020). *Reducing the risk of bird collisions with high-voltage power lines in Belgium through sensitivity mapping: 2020 update. Final report*. Elia, Natagora y Natuurpunt. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31116.33927>
- Díaz, N. (2014). *Impacto de la infraestructura eléctrica sobre la fauna silvestre de la Península de Nicoya, Costa Rica* [Tesis de maestría]. Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Universidad de Costa Rica.
- Dixon, A. (2016). *Preventing the Electrocution of Birds on Power Infrastructure* [Folleto]. TURUL e International Association for Falconry and Conservation of Birds of Prey (IAF). https://birdelectrocution.iaf.org/wp-content/uploads/sites/3/2017/11/2017-IAF-electrocution_booklet_English_LR-1.pdf
- Dixon, A., Rahman, M. L., Galtbalt, B., Gunga, A., Sugarsaikhan, B. y Batbayar, N. (2017). Avian electrocution rates associated with density of active small mammal holes and power-pole mitigation: Implications for the conservation of Threatened raptors in Mongolia. *Journal for nature conservation*, 36, 14-19. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2017.01.001>
- Dixon, A., Rahman, M. L., Galtbalt, B., Bold, B., Davaasuren, B., Batbayar, N. y Sugarsaikhan, B. (2019). Mitigation techniques to reduce avian electrocution rates. *Wildlife Society Bulletin* 43, 476-483. <https://doi.org/10.1002/wsb.990>
- Domínguez del Valle, J., Roldán Arroyo, J. M. y Moreno Giménez, P. (2015). Seguimiento de la mortalidad de aves en líneas eléctricas con perros adiestrados. *Actas VIII Congreso Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental*. Disponible en: https://www.eia.es/wp-content/uploads/2024/09/Libro-de-actas-VIII-CONEIA_2015_compressed.pdf
- Domínguez del Valle, J., Cervantes Peralta, F. y Jaquero Arjona, M. I. (2020). Factors affecting carcass detection at wind farms using dogs and human searchers. *Journal of Applied Ecology*, 57(10), 1926-1935. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13714>
- Donald, P. F., Fishpool, L. D. C., Ajagbe, A., Butchart, S. H. M. y Buchanan, G. M. (2019). Important Bird and Biodiversity Areas (IBAs): the development and characteristics of a global inventory of key sites for biodiversity. *Bird Conservation International*, 29(2), 177-198. <https://doi.org/10.1017/S0959270918000102>
- dos Santos, L. S., Rahal, S. C., Lima, N. A. S., da Cunha, D. A. P., Nava, A. F. D., Neto L. C. y Teixeira C. R. (2022). Open Fracture of the Femur in a Two-toed Sloth (*Choloepus didactylus*) - Treatment and Rehabilitation. *Acta Scientiae Veterinariae*, 50(1), 799. Disponible en: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ActaScientiaeVeterinariae/article/view/119693/85288>
- Drolet, A. y Lapointe, S. (2025). Single and side-by-side high voltage powerlines cause similar rates of fatal bird collisions in southern Quebec, Canada, during fall migration. *The Wilson Journal of Ornithology*, 137(3), 368-385. <https://doi.org/10.1080/15594491.2025.2486843>
- Dwyer, J. F. (2009). Raptor electrocution: a case study on ecological traps, sinks, and additive mortality. *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education*, 38, 93-98. <https://doi.org/10.4195/jnrlse.2009.0002u>
- Dwyer, J. F., Harness, R. E. y Donohue, K. (2014). Predictive model of avian electrocution risk on overhead power lines. *Conservation Biology*, 28(1), 159-168. <https://doi.org/10.1111/cobi.12145>

- Dwyer, J. F., Harness, R. E. y Eccleston, D. (2017). Avian electrocutions on incorrectly retrofitted power poles. *Journal of Raptor Research*, 51(3), 293-304. <https://doi.org/10.3356/JRR-16-93.1>
- Dwyer, J. F., Hayes, T. I., Thorstrom, R. y Harness, R. E. (2019a). Retrofitting power poles to prevent electrocution of translocated Ridgway's Hawks (*Buteo ridgwayi*). *Journal of Caribbean Ornithology*, 32, 4-10. <https://doi.org/10.55431/jco.2019.32.4-10>
- Dwyer, J. F., Pandey, A. K., McHale, L. A. y Harness, R. E. (2019b). Near-ultraviolet light reduced Sandhill Crane collisions with a power line by 98%. *The Condor: Ornithological Applications* 121(2), duz008. <https://doi.org/10.1093/condor/duz008>
- Dwyer, J. F., Gerber, B. D., Petersen, P., Armstrong, W. E. y Harness R. E. (2020). Power pole density and avian electrocution risk in the western United States. *Journal of Raptor Research* 54, 93-109. <https://doi.org/10.3356/0892-1016-54.2.93>
- Dwyer, J. F. y Mojica, E. K. (2022). Can an avian electrocution risk model from California guide retrofitting throughout the western United States? *Journal of Fish and Wildlife Management*, 13(1), 17-27, e1944-687X. <https://doi.org/10.3996/JFWM-21-046>
- Dwyer, J. F., Karyakin, I. V., Garrido López, J. R. y Nikolenko E. G. (2023). Avian Electrocutions on Power Lines in Kazakhstan and Russia. *Ardeola*, 70(1), 3-27. <https://doi.org/10.13157/arla.70.1.2023.rp1>
- Eccleston, D. T. y Harness, R. E. (2018). Raptor Electrocutions and Power Line Collisions. En: Sarasola, J. H., Grande, J. M. y Negro, J. J. (Eds.). *Birds of Prey. Biology and conservation in the XXI century* (pp. 273-302). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73745-4_12
- e-distribuzione (s.f.) *LIFE EGYPTIAN VULTURE. Medidas para la conservación del alimoche en Italia y las Islas Canarias. LIFE16 NAT/IT/000659 Layman's report*. Disponible en: <https://www.lifegyptianvulture.it/es/documenti/>
- Electric Power Research Institute (EPRI) (2001). *Distribution Wildlife and Pest Control. Report 1001883*. Electric Power Research Institute.
- Ember (s.f.). *Datos anuales de electricidad*. Extraído el 12 de diciembre de 2025 de <https://ember-energy.org/es/datos/datos-anuales-de-electricidad>
- Endangered Wildlife Trust (EWT) (2020). *Integrated report 2019/2020*. Endangered Wildlife Trust. <https://ewt.org/wp-content/uploads/2022/11/EWT-Integrated-Report-2020.pdf>
- Environmental Impact Services (2013). *SEA Statement of the GRID25: Implementation Programme 2011-2016. Strategic Environmental Assessment*. EirGrid. <https://cms.eirgrid.ie/sites/default/files/publications/SEA-Statement-of-the-Grid25-Implementation-Programme-2011-2016-Strategic-Environmental-Assessment.pdf>
- Escobar-Ibáñez, J. F., Aguilar-López, J. L., Muñoz-Jiménez, O. y Villegas-Patraca, R. (2022). Power Lines, an Understudied Cause of Avian Mortality in Mexico. *Tropical Conservation Science*, 15. <https://doi.org/10.1177/19400829221130479>
- Eskom-EWT Strategic Partnership (s.f.). *Data from the Central Incident Register* [No publicado]. The Endangered Wildlife Trust.

- Fajardo, Í. (1998). *Selección y uso del hábitat por la lechuza común, Tyto alba (Aves, Strigiformes), en la Iberia Mediterránea. Implicaciones en la Conservación* [Tesis de doctorado]. Universidad Complutense de Madrid, España.
- Fajardo López-Cuervo, Í. y Zorrilla Delgado, I. (2016). *Manual de Técnica Policial Ambiental. Identificación in situ de causas de muerte en fauna silvestre*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía.
- Faure, R. (1988). Electricité de France et le génocide des oiseaux. *L'Oiseau et la Revue française d'ornithologie* 10, 16-23.
- Fehily Timoney (2024). *Grid Implementation Plan 2023-2028 for the Electricity Transmission System in Ireland. Strategic Environmental Assessment Statement*. EirGrid. Disponible en: <https://www.eirgrid.ie/community/strategic-planning-environment-and-biodiversity#strategic-environmental-assessment-of-grid-plans>
- Fernie, K. J. y Reynolds, S. J. (2005). The Effects of Electromagnetic Fields from Power Lines on Avian Reproductive Biology and Physiology: A Review. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews* 8, 127-140. <https://doi.org/10.1080/10937400590909022>
- Ferrer, M., de la Riva, M. y Castroviejo, J. (1986). Mueren las aves en los tendidos eléctricos de Doñana. *Trofeo*, 191, 40-45.
- 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., de la Riva, M. y Castroviejo, J. (1987). Los tendidos eléctricos matan águilas en Doñana. *Conocer*, 54, 64-67.
- Ferrer, M. (1988). Electrocutación de águilas imperiales en Andalucía: importancia, zonas de alto riesgo y medidas protectoras. *Bios*, 6, 14-16.
- Ferrer, M. y Hiraldo, F. (1991). Evaluation of management techniques for the Spanish imperial eagle. *Wildlife Society Bulletin*, 19, 436-442.
- 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. y Hiraldo, F. (1992). Man-induced sex-biased mortality in the Spanish imperial eagle. *Biological Conservation*, 60, 57-60.
- Ferrer, M. y Negro J. J. (1992). Tendidos eléctricos y conservación de aves en España. *Ardeola* 39, 23-27.
- Ferrer, M. y Janss, G. (Coord.) (1999). *Aves y líneas eléctricas*. Editorial Quercus.
- Ferrer, M. (2012). *Aves y tendidos eléctricos. Del conflicto a la solución*. Endesa S.A. y Fundación Migres.
- Ferrer-Sánchez, A., Salazar-Sosa, E. A., González-Rosales, S. A. y Gálvez-Aguilera, X. (2017). Análisis de la mortalidad de individuos anillados de flamencos

- (*Phoenicopiterus ruber*) en los humedales costeros de Yucatán, México. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 5(3), 1-7. <https://link.gale.com/apps/doc/A677401946/IFME?u=anon-d1d3d68b&sid=googleScholar&id=ee377d8e>
- Ferrer, M., de Lucas, M., Hinojosa, E. y Morandini, V. (2020a). Transporting Biodiversity Using Transmission Power Lines as Stepping-Stones? *Diversity*, 12(11), 439. <https://doi.org/10.3390/d12110439>
- Ferrer, M., Morandini, V., Baumbush, R., Muriel, R., De Lucas, M. y Calabuig, C. (2020b). Efficacy of different types of 'bird flight diverter' in reducing bird mortality due to collision with transmission power lines. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01130. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01130>
- Fidlóczy, J., Bagyura, J., Nagy, K., Szitta, T., Haraszthy, L., y Tóth, P. (2014). Bird conservation on electric-power lines in Hungary: Nest boxes for saker falcon and avian protection against electrocutions. Projects' report. *Raptor Journal*, 8(2), 87-95. <https://doi.org/10.2478/srj-2014-0010>
- Fischer, J., Alimi, D., Knieling, J. y Camara, C. (2020). Stakeholder Collaboration in Energy Transition: Experiences from Urban Testbeds in the Baltic Sea Region. *Sustainability* 12(22), 9645. <https://doi.org/10.3390/su12229645>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2001). *International handbook on forest fire protection. Technical guide for the countries of the Mediterranean basin*. Ministerio de ordenación territorial y medio ambiente (Francia) y FAO.
- Fransson, T., Jansson, L., Kolehmainen, T. y Wenninger, T. (2019). Collisions with power lines and electrocution in birds: an analyses based on Swedish ringing recoveries 1990-2017. *Ornis Svecica*, 29, 37-52. <https://doi.org/10.34080/os.v29.19731>
- Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos (FCQ) (2023, 31 de marzo). *Red Eléctrica señalará las líneas en zonas de vuelo del quebrantahuesos en España para proteger esta especie amenazada* [Noticia en línea]. <https://quebrantahuesos.org/red-electrica-senalizara-las-lineas-en-zonas-de-vuelo-del-quebrantahuesos-en-espana-para-proteger-esta-especie-amenazada/> (Consultado el 20 de enero de 2025).
- Gális, M., Nadó, L., Hapl, E., Šmídt, J., Deutschová, L. y Chavko, J. (2019). Comprehensive analysis of bird mortality along power distribution lines in Slovakia. *Raptor Journal*, 13(1), 1-25. <https://doi.org/10.2478/srj-2019-0006>
- Gális, M., y Ševčík, M. (2019). Monitoring of effectiveness of bird flight diverters in preventing bird mortality from powerline collisions in Slovakia. *Raptor Journal*, 13(1), 45-59. <https://doi.org/10.2478/srj-2019-0005>
- Gallego-García, D., Orozco-Valor, P. M., Martínez-Miranzo, B., Gómez-Espí, S. y Sarasola, J. H. (en prensa). A hundred birds or more: large-scale assessment of raptor electrocutions across Argentina. *Perspectives in Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2026.02.015>
- Gallo, F. y Sánchez, R. (2022). Primeros registros de mortalidad por electrocución de rapaces en Ecuador. *Eagles News*, 81. Disponible en: <https://raptorsoftheworld.org/2022/06/21/primeros-registros-de-mortalidad-por-electrocucion-de-rapaces-en-ecuador/>

- Galmes, M. A., Sarasola, J. H., Grande, J. M. y Vargas, F. H. (2018). Electrocutation risk for the endangered Crowned Solitary Eagle and other birds in semiarid landscapes of central Argentina. *Bird Conservation International*, 28, 403-415.
<https://doi.org/10.1017/S0959270917000272>
- Gangoso, L. y Palacios, C. J. (2002). Endangered Egyptian Vulture (*Neophron percnopterus*) entangled in a power line ground-wire stabilizer. *Journal of Raptor Research*, 36(3), 238-239. Disponible en: <https://digitalcommons.usf.edu/jrr/vol36/iss3/18>
- García-Alfonso, M., van Overveld, T., Gangoso, L., Serrano, D. y Donázar, J. A. (2021). Disentangling drivers of power line use by vultures: Potential to reduce electrocutions. *Science of The Total Environment*, 793, 148534. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148534>
- Gardner, T. A., Von Hase, A., Brownlie, S., Ekstrom, J. M., Pilgrim, J. D., Savy, C. E., ... Ten Kate, K. (2013). Biodiversity offsets and the challenge of achieving no net loss. *Conservation biology*, 27(6), 1254-1264. <https://doi.org/10.1111/cobi.12118>
- Garfinkel, M., Hosler, S., Whelan, C. y Minor, E. (2022). Powerline Corridors Can Add Ecological Value to Suburban Landscapes When Not Maintained as Lawn. *Sustainability* 14(12), 7113. <https://doi.org/10.3390/su14127113>
- Garrido, J. R. y Fernández-Cruz, M. (2003). Effects of power lines on a White Stork *Ciconia ciconia* population in central Spain. *Ardeola*, 50, 191-200.
<https://ardeola.org/uploads/articles/docs/533.pdf>
- Garrido, J. R. y Martín, J. (2015). Identificación de tendidos eléctricos peligrosos. En: Fajardo, I.; Martín, J. y Ruiz, A. (Eds.). *Manual para la protección legal de la biodiversidad para los agentes de la autoridad ambiental en Andalucía. Tercera edición, revisada, corregida y ampliada* (pp. 271-295). Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía.
- Garrido, J. R., Barrios, V., Numa, C., Dwyer, J.F. y Harness, R.E. (2018a, 12-16 noviembre). *No pole design without effective mitigation techniques is safe for raptors in Morocco* [Ponencia oral]. Conferencia anual de la *Raptor Research Foundation*, Parque Nacional Kruger, Sudáfrica.
- Garrido, J. R., Martín, J., Fajardo, I., Dwyer, J.F. y Harness, R.E. (2018b, 12-16 noviembre). *Lessons to improve retrofitting: Quantifying bird electrocutions on retrofitted pylons* [Ponencia oral]. Conferencia anual de la *Raptor Research Foundation*, Parque Nacional Kruger, Sudáfrica.
- Garrido, J. R., Numa, C., Barrios, V., Qninba, A., Riad, A., Haitham, O., Hasnaoui, H., Buirzayqah, S., Onrubia, A., Fellous-Djardini, A., Saheb, M., Rousselon, K., Cherkaoui, S.I., Essetti, I., Noaman, M., Radi, M., Cuzin, F., Irizi, A., Monchaux, G., ... Bakass, B. (2021). *The conservation status and distribution of the breeding birds of prey of North Africa*. IUCN. <https://portals.iucn.org/library/node/49778>
- Garthe, S. y Hüppop, O. (2004). Scaling possible adverse effects of marine wind farms on seabirds: developing and applying a vulnerability index. *Journal of applied Ecology*, 41(4), 724-734. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00918.x>
- Gauld, J. (2022). *Improving the detection and estimation of birds' collision risk with energy infrastructure using new and emerging tracking technologies* [Tesis de doctorado]. Universidad de East Anglia, Reino Unido. Disponible en: <https://ueaeprints.uea.ac.uk/id/eprint/92481/>

- Gauld, J. G., Silva, J. P., Atkinson, P. W., Record, P., Acácio, M., Arkumarev, V., ... Franco, A. M. (2022). Hotspots in the grid: Avian sensitivity and vulnerability to collision risk from energy infrastructure interactions in Europe and North Africa. *Journal of Applied Ecology*, 59(6), 1496-1512. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14160>
- Georgiadis L. (Coord.) (2020). *A Global Strategy for Ecologically Sustainable Transport and other Linear Infrastructure*. IENE, ICOET, ANET, ACLIE, WWF, IUCN. Disponible en: <https://www.iene.info/projects/igeli/>
- Gilad, D., Borgelt, J., May, R., y Verones, F. (2024). Biodiversity on the line: life cycle impact assessment of power lines on birds and mammals in Norway. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 4(3), 035003. <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ad5bfd>
- Gillan, J., Strand, E., Karl, J. W., Reese, K. y Laninga, T. (2013). Using spatial statistics and point-pattern simulations to assess the spatial dependency between greater sage-grouse and anthropogenic features. *Wildlife Society Bulletin*, 37(2), 301- 310. <https://doi.org/10.1002/wsb.272>
- Godino, A., Garrido, J. R., El Khamlichi, R., Burón, D., Machado, C., Amezian, M., ... Barrios, V. (2016). *Identificación de mortalidad por electrocución de aves rapaces en el sudoeste de Marruecos*. IUCN. <https://portals.iucn.org/library/node/46262>
- Gómez-Catasús, J., Carrascal, L. M., Moredale, V., Colsa, J., Garcés, F. y Schuster, C. (2020). Factors Affecting Differential Underestimates of Bird Collision Fatalities at Electric Lines: A Case Study in the Canary Islands. *Ardeola*, 68(1), 71-94. <https://doi.org/10.13157/arla.68.1.2021.ra5>
- Goulart, V. D., Teixeira, C. P. y Young, R. J. (2010). Analysis of callouts made in relation to wild urban marmosets (*Callithrix penicillata*) and their implications for urban species management. *European journal of wildlife research*, 56(4), 641-649. <https://doi.org/10.1007/s10344-009-0362-4>
- Grupo de Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat (GREFA) (2022). *Libro Blanco de la electrocución en España. Análisis y propuestas, dos años después (2020-2022)* AQUILA a-LIFE (LIFE06 NAT/ES/000235). GREFA. Disponible en <https://aquila-a-life.org/index.php/es/de-interes/multimedia/descargas/category/19-campana-de-educacion-ambiental-sobre-la-importancia-del-aguila-de-bonelli>
- GREFA (2023). *AQUILA a-LIFE. Lograr la recuperación del águila de Bonelli del Mediterráneo Occidental, trabajando juntos por una red eléctrica adecuada para las aves*. LIFE16 NAT/ES/000235 *Resumen de resultados (Layman's report)*. Disponible en: <https://www.aquila-a-life.org/index.php/es/8-noticias-espanol/466-para-saber-lo-que-hemos-hecho-por-el-aguila-de-bonelli-consulta-nuestro-informe-layman-s>
- Guil, F., Fernández-Olalla, M., Moreno-Opo, R., Mosqueda, I., Gómez, M.E., Aranda, A. y Margalida, A. (2011). Minimising mortality in endangered raptors due to power lines: the importance of spatial aggregation to optimize the application of mitigation measures. *PLoS One*, 6(11), e28212. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028212>

- Guil, F., Colomer, M. Á., Moreno-Opo, R. y Margalida, A. (2015). Space-time trends in Spanish bird electrocution rates from alternative information sources. *Global Ecology and Conservation*, 3, 379-388. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.01.005>
- Guil, F., Soria, M. Á., Margalida, A. y Pérez-García, J. M. (2018). Wildfires as collateral effects of wildlife electrocution: An economic approach to the situation in Spain in recent years. *Science of the Total Environment*, 625, 460-469. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.242>
- Guil, F., Soria, M. Á., Ortega, V., García-Sánchez, R. y Villaverde-Morcillo, S. (2021). Prioritizing strain insulators for raptor conservation. *Bird Conservation International*, 31(3), 379-394. <https://doi.org/10.1017/S0959270921000253>
- Guil, F. y Pérez-García, J. M. (2022). Bird electrocution on power lines: Spatial gaps and identification of driving factors at global scales. *Journal of Environmental Management*, 301, 113890. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113890>
- Gusmão, A. C., Degra, D., da Silva, O. D., de Souza, L. S., da Frota, A. V. B., Tuyama, C. A., ... Filho, M. d. S. (2020). Power lines as a threat to a canopy predator: electrocuted Harpy Eagle in southwestern Brazilian Amazon. *Journal of Threatened Taxa*, 12(13), 16904-16908. <https://doi.org/10.11609/jott.6198.12.13.16904-16908>
- Haas, D., Nipkow, M., Fiedler, G., Schneider, R., Haas, W. y Schürenberg, B. (2003). Protecting birds from power lines: a practical guide on the risks to birds from electricity transmission facilities and how to minimise any such adverse effects. En: BirdLife International. *Report on behalf of the Bern Convention to the Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats*, 23. Meeting Strasbourg (pp. 1-4). Consejo de Europa.
- Hallingstad, E., Riser-Espinoza, D., Brown, S., Rabie, P., Haddock, J. y Kosciuch, K. (2023). Game bird carcasses are less persistent than raptor carcasses, but can predict raptor persistence dynamics. *Plos One*, 18(1), e0279997. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279997>
- Hamal, S., Sharma, H. P., Gautam, R. y Katuwal, H. B. (2023). Drivers of power line collisions and electrocutions of birds in Nepal. *Ecology and Evolution*, 13(5), e10080. <https://doi.org/10.1002/ece3.10080>
- Handbook of the Birds of the World (HBW) y BirdLife International (2024). *Handbook of the Birds of the World and BirdLife International digital checklist of the birds of the World_Version_81*. 8.1. Disponible en: http://datazone.birdlife.org/userfiles/file/Species/Taxonomy/HBW-BirdLife_Checklist_v81_Jan24.zip
- Harebottle, D. M. y Oschadleus, D. (2014). Roadside densities and variation in nest size and structure of Sociable Weaver colonies near Prieska, Northern Cape, South Africa. *Ornithological Observations*, 5, 304-309. <https://doi.org/10.15641/bo.238>
- Harness, R., Pandey, A. y Phillips, G. (2003). *Bird Strike Indicator/Bird Activity Monitor and Field Assessment of Avian Fatalities*. Report 2003.1005385. EPRI, Audubon National Wildlife Refuge, Edison Electric Institute, Bonneville Power Administration, California Energy Commission, NorthWestern Energy, Otter Tail Power Company, Southern California Edison y Western Area Power Administration.

- Harness, R. E. y Walters, E. L. (2004). Woodpeckers and utility pole damage. *IEEE Industry Applications Magazine*, 11(2), 68-73. <https://doi.org/10.1109/MIA.2005.1405829>
- Harness, R. E., Gombobaatar S. y Yosef, R. (2008). Mongolian distribution power lines and raptor electrocutions. *2008 IEEE Rural Electric Power Conference* (pp. C1-C1). IEEE. <https://doi.org/10.1109/REPCON.2008.4520137>
- Harness, R. E., Eccleston, D. y Baker, M. (2016a). Cost-effective avian protection plans using mobile data collection. En: *2016 IEEE Rural Electric Power Conference (REPC)* (pp. 85-90). IEEE. <https://doi.org/10.1109/REPC.2016.21>
- Harness, R. E., Mojica, E. K., Dwyer, J. F. y Landon, M. A. (2016b). *Power line collision mitigation and avian vision*. Electric Power Research Institute.
- Henderson, I. G., Langston, R. H. W. y Clark, N. A. (1996). The response of common terns *Sterna hirundo* to power lines: an assessment of risk in relation to breeding commitment, age and wind speed. *Biological Conservation*, 77(2-3), 185-192. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(95\)00144-1](https://doi.org/10.1016/0006-3207(95)00144-1)
- Hernández-Lambráño, R. E., Sánchez-Agudo, J. Á. y Carbonell, R. (2018). Where to start? Development of a spatial tool to prioritise retrofitting of power line poles that are dangerous to raptors. *Journal of Applied Ecology*, 55(6), 2685-2697. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13200>
- Hernández-Matías, A., Real, J., Parés, F. y Pradel, R. (2015). Electrocution threatens the viability of populations of the endangered Bonelli's eagle (*Aquila fasciata*) in Southern Europe. *Biological Conservation*, 191, 110-116. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.028>
- Hernández-Matías, A., Mañosa, S., Rollan, À., Bosch, R., Tintó, A. y Real, J. (2020). Using multi-scale spatial prioritization criteria to optimize non-natural mortality mitigation of target species. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01082. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01082>
- Homan, H. J., Linz, G. y Peer, B. D. (2001). Dogs Increase Recovery of Passerine Carcasses in Dense Vegetation. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 29(1), 292-296. <http://www.jstor.org/stable/3784011>
- Hunting, K. (2002). *A roadmap for PIER research on avian collisions with power lines in California*. California Energy Commission, Public Interest Energy Research.
- Iglesias Lebrija, J. J., Álvarez Xusto, E., Galán Crespo, M., de la Fuente García, S., Izquierdo Cezón, P., Martín Martín, J. y Díaz Fernández, J. P. (2021). Áreas de dispersión juvenil de águila perdicera *Aquila fasciata* en la provincia de Toledo. ¿Son suficientes las zonas de protección contra la electrocución y colisión definidas en el R.D. 1432/08 para proteger esta especie? En: Frías, O., Santa-Cruz, M. y Fernández Tizón M. (Eds.). *Anuario ornitológico de Toledo, 2014-2018*. (pp. 38-48). SEO-Talavera y Agrupación Naturalista ESPARVEL. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/354626243_IV_Anuario_Ornitologico_de_la_Provincia_de_Toledo_2014-2018

- Infante, S., Neves, J., Ministro, J. y Brandao, R. (2005). *Estudo sobre o Impacto das Linhas Eléctricas de Média e Alta Tensão na Avifauna em Portugal* [No publicado]. Quercus Associação Nacional de Conservação da Natureza y Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves (SPEA).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2024, 22 de mayo). *Encuesta nacional de la dinámica demográfica (ENADID) 2023* [Comunicado de prensa 305/24]. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2024/ENADID/ENADID2023.pdf> (Consultado el 14 de enero 2025)
- International Finance Corporation (IFC) (2012). *Norma de Desempeño 6. Conservación de la biodiversidad y gestión sostenible de recursos naturales vivos*. Disponible en: <https://www.ifc.org/en/insights-reports/2012/ifc-performance-standard-6>
- IFC y Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (2026). *Preventing Electrocutation Risks for Birds on Distribution Lines. Tip Sheet*. <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2026/preventing-electrocutation-risks-for-birds.pdf>
- International Union for Conservation of Nature-Commission on Ecosystem Management (IUCN-CEM) (2022). *La Lista Roja de Ecosistemas de UICN. Versión 2022-1* <<http://iucnrl.org>> . (Consultado el 23 de noviembre de 2025).
- Izquierdo Rosique, A., Martín Cantarino, C. y Rico Alcaraz, L. (1997). Factores técnicos y ambientales implicados en la electrocución de aves en los tendidos eléctricos. *Informes De La Construcción*, 49(451), 49-55. <https://doi.org/10.3989/ic.1997.v49.i451.937>
- Janss, G. F. y Ferrer, M. (1998). Rate of Bird Collision with Power Lines: Effects of Conductor-marking and Static Wire-marking. *Journal of Field Ornithology*, 69(1), 8-17. Disponible en: <https://digitalcommons.usf.edu/jfo/vol69/iss1/2>
- Janss, G. F. y Ferrer, M. (1999). Mitigation of raptor electrocution on steel power poles. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 27(2), 263-273. <http://www.jstor.org/stable/3783888>
- Janss, G. F. E. (2000). Avian mortality from power lines: A morphologic approach of a species-specific mortality. *Biological Conservation*, 95(3), 353-359. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00021-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00021-5)
- Janss, G. F. E. y Ferrer, M. (2001). Avian electrocution mortality in relation to pole design and adjacent habitat in Spain. *Bird Conservation International*, 11(1), 3-12. <https://doi.org/10.1017/S0959270901001022>
- Jenkins, A. R., Smallie, J. J. y Diamond, M. (2010). Avian collisions with power lines: a global review of causes and mitigation with a South African perspective. *Bird Conservation International*, 20(3), 263-278. <https://doi.org/10.1017/S0959270910000122>
- Jenkins, A. R., Shaw, J. M., Smallie, J. J., Gibbons, B., Visagie, R. y Ryan, P. G. (2011). Estimating the impacts of power line collisions on Ludwig's Bustards *Neotis ludwigii*. *Bird Conservation International*, 21(3), 303-310. <https://doi.org/10.1017/S0959270911000128>
- Joseph, L. A. (2000). Problems with wood-boring beetles in poles. *Proceedings of the Canadian Wood Preservation Association (CWPA)*, 139-147. <https://woodpreservation.ca/wp-content/uploads/2025/04/Problems-with-wood-boring-beetles-in-poles.pdf>

- Kagan, R. A. (2016). Electrocution of Raptors on Power Lines: A Review of Necropsy Methods and Findings. *Veterinary Pathology*, 53(5), 1030-1036.
<https://doi.org/10.1177/0300985816646431>
- Katsis, L., Cunneyworth, P. M., Turner, K. M. y Presotto, A. (2018). Spatial patterns of primate electrocutions in Diani, Kenya. *International Journal of Primatology*, 39, 493-510.
<https://doi.org/10.1007/s10764-018-0046-6>
- Keeley, J. E., Bond, W. J., Bradstock, R. A., Pausas, J. G. y Rundel, P. W. (2011). *Fire in Mediterranean Ecosystems: Ecology, Evolution and Management*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139033091>
- Kelly, T. R., Rideout, B. A., Grantham, J., Brandt, J., Burnett, L. J., Sorenson, K. J., ... Johnson, C. K. (2015). Two decades of cumulative impacts to survivorship of endangered California condors in California. *Biological Conservation*, 191, 391-399.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.07.012>
- Kemper, C. M., Court, G. S. y Beck, J. A. (2013). Estimating raptor electrocution mortality on distribution power lines in Alberta, Canada. *The Journal of Wildlife Management*, 77(7), 1342-1352. <https://doi.org/10.1002/jwmg.586>
- Kettel, E., Thaxter, C., Oppel, S. y Pearce-Higgins, J. (2022). Better utilisation and transparency of bird data collected by TSOs. *Journal of Environmental Management*, 302, Part A.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114063>
- Klug, P. E., Shiels, A. B., Kluever, B. M., Anderson, C. J., Hess, S. C., Ruell, E. W., ... y Siers, S. R. (2023). A review of nonlethal and lethal control tools for managing the damage of invasive birds to human assets and economic activities. *Management of Biological Invasions*, 14(1).
<https://doi.org/10.3391/mbi.2023.14.1.01>
- Kolnegari, M., Qashqaei, A. T., Hazrati, M., Basiri, A. A., Tork Abad, M. M. y Ferrer, M. (2018). Rare cases of carnivore mortality due to electric power distribution lines in Iran. *Zoology and Ecology*, 28(4), 418-420. <https://doi.org/10.1080/21658005.2018.1520019>
- Kolnegari, M., Daraei, Z., Hazrati, M. y Guil, F. (2021). *Hyla savignyi* (Lemon-yellow Treefrog). Electrocution. *Herpetological Review*, 52(4), 824-825. Natural History Notes. Disponible en: <https://ssarherps.org/herpetological-review-pdfs/>
- Kolnegari, M., Basiri, A. A., Hazrati, M., Gaunin, A. y Dwyer, J. F. (2024). Epoxy Coating as a Novel Method to Prevent Avian Electrocutions and Electrical Faults on Distribution Pylons with Grounded Steel Crossarms. *Birds*, 5(3), 616-624. <https://doi.org/10.3390/birds5030041>
- Kucher, N., Aberle, S., Raab, R. y Horenk, K. (2020, 24 de agosto-3 de septiembre). *Video monitoring to study the behaviour of birds on a marked overhead line and to determine the risk of collision* [Ponencia oral]. Sesión General nº 48 de CIGRE. París, Francia.
- Kumar, V. y Kumar, V. (2015). Seasonal electrocution fatalities in free-range rhesus macaques (*Macaca mulatta*) of Shivalik Hills area in Northern India. *Journal of Medical Primatology* 44(3):137-142. <https://doi.org/10.1111/jmp.12168>

- Larsen, J. K. y Madsen, J. (2000). Effects of wind turbines and other physical elements on field utilization by pink-footed geese (*Anser brachyrhynchus*): A landscape perspective. *Landscape Ecology*, 15, 755-764. <https://doi.org/10.1023/A:1008127702944>
- Lasch, U., Zerbe, S. y Lenk, M. (2010). Electrocuting of raptors at power lines in Central Kazakhstan' *Waldokologie Online*, 9, 95-100. <https://hdl.handle.net/10863/28961>
- Lazo, A., Castelló, A., Conde, J. L., Braña, S., Otero, R. y Janss, G. (2016). *Metodología y protocolos para la recogida y análisis de datos de siniestralidad de aves por colisión en líneas de transporte de electricidad. Versión 2 (febrero 2016)*. Red Eléctrica de España y Asistencias Técnicas Clave S.L. https://www.ree.es/sites/default/files/04_SOSTENIBILIDAD/Documentos/Metodologia_y_protocolos_estudio_siniestralidad_v2_Febrero2016.pdf
- Lehman, R. N. y Barrett, J. S. (2002). *Raptor electrocutions and associated fire hazards in the Snake River Birds of Prey National Conservation Area. Technical bulletin No. 02-7*. Idaho Bureau of Land Management.
- 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(2), 159-174. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.09.015>
- Letsoalo, A. (2019). *Special Investigation: Porcupines burrowing at Transmission tower foundations. Report to Eskom*. Endangered Wildlife Trust.
- Liesenjohann, M., Blew, J., Fronczek, S., Reichenbach, M. y Bernotat, D. (2019). *Artspezifische Wirksamkeiten von Vogelschutzmarkern an Freileitungen. Methodische Grundlagen zur Einstufung der Minderungswirkung durch Vogelschutzmarker – ein Fachkonventionsvorschlag*. Bundesamt für Naturschutz (Ed.). BfN -Skripten, 537. <https://www.bfn.de/sites/default/files/BfN/service/Dokumente/skripten/skript537.pdf>
- LIFE Egyptian Vulture (2022, 30 de marzo). *La población de guirres en las Islas Canarias supera los 400 ejemplares*. Proyecto LIFE Egyptian Vulture. <https://www.lifegyptianvulture.it/es/sin-categorizar/la-poblacion-de-guirres-en-las-islas-canarias-supera-los-400-ejemplares/>
- Lokschin, L. X., Rodrigo, C. P., Cabral, J. N. H. y Buss, G. (2007). Power lines and Howler Monkey conservation in Porto Alegre, Rio Grande Do Sul, Brazil. *Neotropical Primates*, 14(2), 76-80. <https://doi.org/10.1896/044.014.0206>
- 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. *PLoS One*, 6(3), e17196. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017196>
- López-García, A., Martín-Martín, J., Fernández-Mellado, R. y García de la Morena, E. (2025). *Guidance tool for good practices in bird conservation in the development of renewable energies*. Convenio relativo a la conservación de la vida silvestre y del medio natural de Europa, Consejo de Europa. <https://rm.coe.int/inf45rev-2025-guidance-tool-for-good-practices-in-bird-conservation-in/4880296384>
- Loss, S.R., Will, T. y Marra, P. P. (2014). Refining Estimates of Bird Collision and Electrocution Mortality at Power Lines in the United States. *PLoS One*, 9(7): e101565. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101565>

- Loss, S. R., Will, T. y Marra, P. P. (2015). Direct mortality of birds from anthropogenic causes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46(1), 99-120.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054133>
- Luzenski, J., Rocca, C. E., Harness, R. E., Cummings, J. L., Austin, D. D., Landon, M. A. y Dwyer, J. F. (2016). Collision avoidance by migrating raptors encountering a new electric power transmission line, *The Condor: Ornithological Applications*, 118(2), 402-410.
<https://doi.org/10.1650/CONDOR-15-55.1>
- MacRae, P. (2025, 10 de febrero). 'Total chaos': Monkey blamed for nationwide power cut in Sri Lanka. *The Guardian* [Noticia en línea]. <https://www.theguardian.com/world/2025/feb/10/total-chaos-monkey-blamed-for-nationwide-power-cut-in-sri-lanka>
- Madrigal Martínez, M., Montes de Oca Fehr, G., Matías, D. y Balza, L. H. (2024, 29 de febrero). *Transformar el futuro: Acelerando la transición energética en América Latina y el Caribe*. Blog Energía para el Futuro del Banco Interamericano de Desarrollo.
<https://blogs.iadb.org/energia/es/transformar-el-futuro-acelerando-la-transicion-energetica-en-america-latina-y-el-caribe/>
- Mainwaring, M. C. (2015). The use of man-made structures as nesting sites by birds: A review of the costs and benefits. *Journal for Nature Conservation*, 25, 17-22.
<https://doi.org/10.1016/j.jnc.2015.02.007>
- Mair, L., Bennun, L. A., Brooks, T. M., Butchart, S. H. M., Bolam, F. C., Burgess, N. D., ... McGowan, P. J. K. (2021) A metric for spatially explicit contributions to science-based species targets. *Nature ecology & evolution*, 5, 836-844.
<https://doi.org/10.1038/s41559-021-01432-0>
- Manzano-Fischer, P. (2007). *Principales conflictos entre aves y líneas de energía eléctrica: Acciones de mitigación y otras soluciones para la conservación del águila real y otras rapaces*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México. https://dodoac.org/pdf/Electrocucion/MANUAL1DGIRA_web.pdf
- Manzano-Fischer, P., List, R., Cartron, J. L., Sierra, R. y Ponce, E. (2007). Electrocutación de aves en líneas de distribución de energía eléctrica en México. *Biodiversitas*, 72, 11-15.
<https://www.scribd.com/doc/206914476/Electrocucion-de-aves-en-lineas-Mexico>
- Mañosa, S. (2001). Strategies to identify dangerous electricity pylons for birds. *Biodiversity and Conservation*, 10, 1997-2012. <https://doi.org/10.1023/A:1013129709701>
- March, I. J., Carvajal, M. A., Vidal, R. M., San Román, J. E. y Ruiz, G. (2009). Planificación y desarrollo de estrategias para la conservación de la biodiversidad. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio* (pp. 545-573). CONABIO http://www2.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II13_Planificacion%20y%20desarrollo%20de%20estrategias%20para%20la%20con.pdf
- Maron, M., Brownlie, S., Bull, J. W., Evans, M. C., von Hase, A., Quétiér, F., ... Gordon, A. (2018). The many meanings of no net loss in environmental policy. *Nature Sustainability*, 1(1), 19-27.
<https://doi.org/10.1038/s41893-017-0007-7>

- Marques, A. T., Martins, R. C., Silva, J. P., Palmeirim, J. M. y Moreira, F. (2020). Power line routing and configuration as major drivers of collision risk in two bustard species. *Oryx*, 55(3), 442-451. <https://doi.org/10.1017/S0030605319000292>
- Marques, A. T., Pacheco, C., Mougeot, F. y Silva, J. P. (2024). GPS tracking reveals the timing of collisions with powerlines and fences of three threatened steppe bird species. *Bird Conservation International*, 34, e22. <https://doi.org/10.1017/S0959270924000145>
- Marques, A. T., Silva, J. P. y Moreira, F. (2025). Species-Specific Responses of Farmland Birds to Overhead Powerlines. *Ecology and Evolution*, 15(8), e71984. <https://doi.org/10.1002/ece3.71984>
- Martin, G. R. y Shaw, J. M. (2010). Bird collisions with power lines: failing to see the way ahead? *Biological Conservation*, 143(11), 2695-2702. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.07.014>
- Martin, G. R. (2011a). Understanding bird collisions with man-made objects: a sensory ecology approach. *Ibis*, 153, 239-254. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2011.01117.x>
- Martin, L. (2011b). Is the Fruit You Eat Flying-Fox Friendly? The Effects of Orchard Electrocutation Grids on Australian Flying-Foxes (*Pteropus* spp., Megachiroptera). En: Law, B., Eby, P., Lunney, D. y Lumsden, L. (Eds.) *The Biology and Conservation of Australasian Bats*.
- Martin, G. R. (2022). Vision-Based Design and Deployment Criteria for Power Line Bird Diverters. *Birds*, 3(4), 410-422. <https://doi.org/10.3390/birds3040028>
- Martín Martín, J., Garrido, J. R., Dwyer, J. F. y Aniceto, J. J. (2017). Líneas eléctricas peligrosas para las aves. Guía de identificación de correcciones defectuosas. *El Corzo*, 5, 56-66. Sociedad Gaditana de Historia Natural
- Martín Martín, J., Barrios, V., Clavero Sousa, H. y Garrido López, J. R. (2019). *Les oiseaux et les réseaux électriques en Afrique du Nord. Guide pratique pour l'identification et la prévention des lignes électriques dangereuses*. UICN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2019.09.fr>
- Martín Martín, J., Garrido López, J. R., Clavero Sousa, H. y Barrios, V. (Eds.) (2022). *Wildlife and power lines. Guidelines for preventing and mitigating wildlife mortality associated with electricity distribution networks*. IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2022.10.en>
- Martínez-Miranzo, B., Lekuona, A., García-Urdangarín, B., Gallego, D. y Sarasola, J. H. (2024). Anthropogenic material in Crested Caracara (*Caracara plancus*) nests causes voltage drops in electrical transmission lines in Argentina. *Journal of Raptor Research*, 58(2), 249-253. <https://doi:10.3356/JRR-23-00037>
- Martins, R. C., Bernardino, J. y Moreira, F. (2023). A review of post-construction monitoring practices used in the evaluation of transmission power line impacts on birds and mitigation effectiveness, with proposals for guideline improvement. *Environmental Impact Assessment Review*, 100, 107068. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107068>
- Matsyna, A. I. y Matsyna, E. L. (2011, 13 de abril). *Protection of birds on the power lines in Russia* [Poster]. Conferencia internacional sobre líneas eléctricas y mortalidad de aves en Europe, Budapest, Hungría.

- Matsyna A. I. (2023). Low efficiency of “blank” insulators used to protect birds on overhead power lines. *Raptors Conservation*, 2, 388-389. <http://rrrcn.ru/en/archives/35153>
- Mayrose, A., Haviv, E., Hatzofe, O., Troupin, D., Elroy, M. y Sapir, N. (2024). Bonelli's Eagle electrocution risk in Israel can be reduced by 80% by insulating only 4% of the pylons. *Ornithological Applications*, 126(2), duae004. <https://doi.org/10.1093/ornithapp/duae004>
- McGowan, B. (2024). *Preventing Avian Collisions: Global best practice & buyers guide*. Scientias Ireland Limited, Scientias-Energy. Disponible en: <https://scientias-energy.com/knowledge/buyers-guides/>
- McGuinness, S., Muldoon, C., Tierney, N., Cummins, S., Murray, A., Egan, S. y Crowe, O. (2015). *Bird sensitivity mapping for wind energy developments and associated infrastructure in the Republic of Ireland*. BirdWatch Ireland. https://birdwatchireland.ie/app/uploads/2019/09/BWI-Bird-Wind-Energy-devt-Sensitivity-Mapping-Guidance_document.pdf
- Medrano, F., Barros, R., Silva, R., Norambuena, H. V., Peredo, R., Terán, D. y Schmitt, F. (2018). Golondrina de mar negra *Oceanodroma markhami*. En: Medrano, F., Barros, R., Norambuena, H. V., Matus, R. y Schmitt, F. *Atlas de las aves nidificantes de Chile* (pp. 284-285). Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile. Disponible en: <http://www.redobservadores.cl/biblioteca/atlas-de-las-aves-nidificantes-de-chile/>
- Menon, V., Tiwari, S. K., Ramkumar, K., Kyarong, S., Ganguly, U. y Sukumar, R. (Eds.) (2017). *Right of Passage: Elephant Corridors of India [2nd Edition]*. Conservation Reference Series No. 3. Wildlife Fund of India. https://conservationcorridor.org/cpb/Menon_et_al_2017.pdf
- Meyer, S. y Maistry, M. (2001). *Scan of the damages caused by woodpeckers and barbets to wooden distribution poles in KwaZulu-Natal*. Research Report. Resource and Strategy Division, Eskom.
- Meylisa, A. (2024). *Persepsi masyarakat terhadap kukang sumatera (Nycticebus coucang) di jaringan listrik desa air naningan tanggamus provinsi Lampung* [Tesis]. Facultad de Agricultura, Universidad de Lampung, Indonesia. <http://digilib.unila.ac.id/id/eprint/82494>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (s.f.). *GeoPortal* [Mapa/Visor]. Extraído el 20 de diciembre de 2025 de <https://sig.mapama.gob.es/geoportal/>
- Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía (2022). *Identificación y análisis de efectividad de las medidas de diseño, reparación, mitigación, compensación y/o monitoreo de impactos de proyectos de energía eólica y líneas de transmisión sobre aves y murciélagos*. Elaborado por Francisco Santander, Roberto Thomson y Sandra Uribe. Editado por Meliza González, Ministerio de Energía. Santiago, Chile. https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/estudio_de_analisis_de_efectividad_de_medidas_en_proyectos_de_energia.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO). (2018). *Recomendaciones técnicas para la corrección de los apoyos eléctricos del riesgo de electrocución de aves, para la adaptación de las líneas eléctricas al R.D. 1432/2008*. MITECO, Gobierno de España. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/recomendacionesdecorrecciontendidoselectricosjunio2018_tcm30-450037.pdf

- Minnaar, U. J., Gaunt, C. T. y Nicolls, F. (2012). Characterisation of power system events on South African Transmission power lines. *Electric Power Systems Research*, 88, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.eprsr.2012.01.015>
- Mitchell, J. W. (2013). Power line failures and catastrophic wildfires under extreme weather conditions. *Engineering Failure Analysis*, 35, 726-735. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.07.006>
- Mittermeier, R. A., Myers, N., Mittermeier, C. G. y Robles Gil, P. (2004). *Hotspots Revisited. Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*. CEMEX. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/275651117_Hotspots_Revisited_Earth's_Biologically_Richest_and_Most_Endangered_Terrestrial_Ecoregions
- Mojica, E. K., Dwyer, J. F., Harness, R. E., Williams, G. E. y Woodbridge, B. (2018). Review and synthesis of research investigating golden eagle electrocutions. *The Journal of Wildlife Management*, 82(3), 495-506. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21412>
- Mojica, E. K., Eccleston, D. T. y Harness, R. E. (2022). Importance of power pole selection when retrofitting for eagle compensatory mitigation. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 13(1), 286-294. <https://doi.org/10.3996/JFWM-21-045>.
- Moleón, M., Bautista, J., Garrido, J. R., Martín-Jaramillo, J., Ávila, E. y Madero, A. (2007). Correcting power lines in dispersal areas of Bonelli's eagles: potential positive effects on the raptor community. *Ardeola*, 54(2), 319-325.
- Molina, P. A. (2023). Nuevo registro de mortalidad por electrocución de Gallinazo Negro *Coragyps atratus* en Ecuador. *Eagles News*, 86. Disponible en: <https://raptorsoftheworld.org/2023/08/09/nuevo-registro-de-mortalidad-por-electrocucion-de-gallinazo-negro-coragyps-atratus-en-ecuador/>
- Montilla, S. O., Rios-Soto, J. A., Mantilla-Castaño, J. C., Patiño-Siro, D., Bustamante-Manrique, S., Botero-Henao, N., ... Ramírez-Chaves, H. E. (2020). Eventos de electrocución de *Aotus lemurinus* (Primates: Aotidae) en los Andes Centrales de Colombia. *Mammalogy Notes*, 6(2), 183. <https://doi.org/10.47603/mano.v6n2.183>
- Moore, R. S., Nekaris, K. A. I. y Eschmann, C. (2010). Habitat use by western purple-faced langurs *Trachypitecus vetulus nestor* (Colobinae) in a fragmented suburban landscape. *Endangered Species Research*, 12, 227-234. <https://doi.org/10.3354/esr00307>
- Moore, R. S. y Nekaris, K. A. I. (2014). Compassionate conservation, rehabilitation and translocation of Indonesian slow lorises. *Endangered Species Research*, 26, 93-102. <https://doi.org/10.3354/esr00620>
- Moreira, F., Encarnação, V., Rosa, G., Gilbert, N., Infante, S., Costa, J., ... Catry, I. (2017). Wired: impacts of increasing power line use by a growing bird population. *Environmental Research Letters*, 12(2), 024019. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5c74>
- Moreira, F., Martins, R. C., Aguiar, F. F., Canhoto, A., Martins, J., Moreira, J. y Bernardino, J. (2023). Long-term management practices successfully reduce bird-related electrical faults in a transmission grid increasingly used by white storks for nesting. *Journal of Environmental Management*, 327, 116897. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116897>

- Morelli, F., Beim, M., Jerzak, L., Jones, D. y Tryjanowski, P. (2014). Can roads, railways and related structures have positive effects on birds? – A review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 30, 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.05.006>
- MRC Consultants and Transaction Advisers y PSR Energy Consulting and Analytics (2024). *La transición energética de América Latina y el Caribe. Una visión de sus oportunidades y desafíos hasta 2050. Contexto actual y caminos para el futuro*. CAF. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2376>
- Mulero-Pázmány, M., Negro, J. J. y Ferrer, M. (2013). A low cost way for assessing bird risk hazards in power lines: Fixed-wing small unmanned aircraft systems. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 2(1), 5-15. <https://doi.org/10.1139/juvs-2013-0012>
- Murison, M. y Leeuwner, L. (2018). *Wildlife use of woodpecker holes on wooden distribution poles near Bela-Bela, South Africa*. Report no. RES/RR/171923690. Eskom Holdings SOC Ltd.
- Narváez, V. y G. Zapata-Ríos. 2020. *Manual para el muestreo de fauna silvestre con transectos lineales*. Wildlife Conservation Society. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/343296023_Manual_para_el_Muestreo_de_Fauna_Silvestre_con_Transectos_Lineales
- Naturalista Costa Rica (s.f.). *Animales electrocutados Costa Rica* [Base de datos]. iNaturalist-Costa Rica. <https://costarica.inaturalist.org/projects/animales-electrocutados-costa-rica>
- Negro, J. J. (1999). Past and future research on wildlife interactions with power lines. En: Ferrer, M. y Janss, G. (Coord.) (1999). *Birds and Power Lines: Collision, Electrocution, and Breeding* (pp. 21-28). Editorial Quercus.
- Nekola, J. C. (2012). The impact of a utility corridor on terrestrial gastropod biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 21(3), 781-795. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0216-8>
- Ngila, P. M., Chiawo, D., Owuor, M. A., Wasonga, V. O., Ellwood, E. y Mugo, D. (2024). Assessing the susceptibility of raptor species to electrocution: A framework for Kenya. *Environmental and Sustainability Indicators*, 22, 100400. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100400>
- Nygård, T., Jacobsen, K. O. y Gjershaug, J. O. (2023). Home-range, movements and use of powerline poles of Eagle-Owls (*Bubo bubo*) at an island population in northern Norway. *Ornis Fennica*, 100, 99-111. <https://hdl.handle.net/11250/3084408>
- O'Bryan, C. J., Allan, J. R., Suarez-Castro, A. F., Delsen, D. M., Buij, R., McClure, C. J., ... y Kissling, W. D. (2022). Human impacts on the world's raptors. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 624896. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.624896>
- Oklander, L. I., Rheingantz, M., Rossato, R. S., Peker, S., Hirano, Z. M., Monticelli, C. ... y Jerusalinsky, L. (2024). Restoration of *Alouatta guariba* populations: building a binational management strategy for the conservation of the endangered brown howler monkey of the Atlantic Forest. *Frontiers in Conservation Science*, 5, 1401749. <https://doi.org/10.3389/fcosc.2024.1401749>
- 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*. Raptor Research Report 4. Raptor Research Foundation.

- OpenInfraMap (s.f.). *Stats for ISO territory Ecuador. Power transmission network statistics*. Extraído el 23 de diciembre de 2025 de <https://openinframap.org/stats/country/EC>
- Orihuela-Torres, A., Pérez-García, J. M., Morales-Reyes, Z., Naves-Alegre, L., Sánchez-Zapata, J. A. y Sebastián-González, E. (2021). Avian-power line interactions in the Gobi Desert of Mongolia: are mitigation actions effective? *Avian Research*, 12(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s40657-021-00277-2>
- Otuko, E., Mugabi, P., Nabatanzi, T., Kityo, P., Kakeeto, P., Kinhonhi, I. y Kansime, F. (2024). Performance of treated wooden electricity distribution poles in service in Uganda. *European Journal of Wood and Wood Products*, 82(6), 1755-1765. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/378365006_Performance_of_treated_wooden_electricity_distribution_poles_in_service_in_Uganda/fulltext/65d62c96c3b52a1170e9d812/Performance-of-treated-wooden-electricity-distribution-poles-in-service-in-Uganda.pdf
- Pacífico, E. (2020). *Ecological, demographic and genetic constraints on the conservation of the globally endangered Lear's macaw* [Tesis de doctorado]. Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España. <http://hdl.handle.net/10433/8638>
- Page-Nicholson, S. K., Tate, G., Hoogstad, C., Murison, M., Diamond, M., Blofield, ... Michael, M. D. (2018). Mitigating the impact of large mammals on wooden electrical distribution poles in the Kruger National Park, South Africa. *African Journal of Wildlife Research*, 48(2). <https://doi.org/10.3957/056.048.023006>
- Palacín, C., Alonso, J. C., Martín, C. A. y Alonso, J. A. (2017). Changes in bird- migration patterns associated with human- induced mortality. *Conservation Biology*, 31(1), 106-115. <https://doi.org/10.1111/cobi.12758>
- Pallett, J., Simmons, R. E. y Brown, C. J. (2022). Staggered towers on parallel transmission lines: a new mitigation measure to reduce collisions of birds, especially bustards. *Namibian Journal of Environment*, 6(A):14-21. <https://nje.org.na/index.php/nje/article/view/volume6-pallett/63>
- Palsdottir, A. E., Gill, J. A., Pálsson, S., Alves, J. A., Mendez, V., Þórisson, B. y Gunnarsson, T. G. (2022). Effects of overhead power-lines on the density of ground-nesting birds in open sub-arctic habitats. *Ibis*, 164(4), 1257-1264. <https://doi.org/10.1111/ibi.13089>
- PAN Aves da Caatinga (2024). *Monitoramento populacional arara-azul-de-lear*. Disponible en: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/pan/pan-aves-da-caatinga>
- Pandey, A., Hermence, J. y Harness, R. (2007). *Development of a Cost-Effective System to Monitor Wind Turbines for Bird and Bat Collisions. Phase 1: Sensor System Feasibility Study*. PIER Energy-Related Environmental Research. CEC-500-2007-004. California Energy Commission. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2067.7843>
- Paquet, J. Y., Swinnen, K., Derouaux, A., Devos, K. y Verbelen, D. (2022). Sensitivity mapping informs mitigation of bird mortality by collision with high-voltage power lines. *Nature Conservation*, 47, 215-233. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.47.73710>
- Paula, J., Leal, M. C., Silva, M. J., Mascarenhas, R., Costa, H. y Mascarenhas, M. (2011). Dogs as a tool to improve bird-strike mortality estimates at wind farms. *Journal for Nature Conservation*, 19(4), 202-208. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2011.01.002>

- Pavón-Jordán, D., Stokke, B. G., Åström, J., Bevanger, K., Hamre, Ø., Torsæter, E. y May, R. (2020). Do birds respond to spiral markers on overhead wires of a high-voltage power line? Insights from a dedicated avian radar. *Global Ecology and Conservation*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01363>
- Pay, J. M., Cameron, E. Z., Hawkins, C. E., Johnson, C. N., Koch, A. J., Wiersma, J. M. y Katzner, T. E. (2025). Fine-scale spatial risk models to predict avian collisions with power lines. *Journal of Applied Ecology*, 62(8), 1820-1830. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.70076>
- Penca, J., Crnčec, D. y Lovec, M. (2025). Planning for renewable energy without conflict: the potential of using sensitivity mapping as a decision-support tool. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2025.2481596>
- Pereira, A. A., Dias, B., Castro, S. I., Landi, M. F., Melo, C. B., Wilson, T. M., ... Castro, M. B. (2020). Electrocutations in free-living black-tufted marmosets (*Callithrix penicillata*) in anthropogenic environments in the Federal District and surrounding areas, Brazil. *Primates*, 61(2), 321-329. <https://doi.org/10.1007/s10329-019-00760-x>
- Pérez-García, J. M. (2014). *Modelos predictivos aplicados a la corrección y gestión del impacto de la electrocución de aves en tendidos eléctricos* [Tesis de doctorado]. Universidad Miguel Hernández, Elche, España. <https://dspace.umh.es/jspui/bitstream/11000/1550/7/Tesis%20Doctoral%20JM%20Perez-Garcia%202014.pdf>
- Phalan, B., Hayes, G., Brooks, S., Marsh, D., Howard, P., Costelloe, B., ... Whitaker, S. (2018). Avoiding impacts on biodiversity through strengthening the first stage of the mitigation hierarchy. *Oryx*, 52(2), 316-324. <https://doi.org/10.1017/S0030605316001034>
- Pigniczki, C., Bakró-Nagy, Z., Bakacsi, G., Barkóczi, C., Nagy, T., Puskás, J. y Enyedi, R. (2019). Preliminary results on bird collision with overhead power lines in Hungary: A case study around Pusztaszer Landscape Protection Area. *Ornis Hungarica*, 27(1), 221-238. <https://doi.org/10.2478/orhu-2019-0012>
- Pimenta, M., Falcon, G. B., Soares, A., Souza Fernandes, F. H., Amboni, M., Almeida, R., ... Raíces, D. (2023). PRIM - Plano De Redução de Impactos sobre a Biodiversidade 2a Ed. ICMBio/MMA. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/371755858>
PRIM - PLANO DE REDUCAO DE IMPACTOS SOBRE A BIODIVERSIDADE 2a ED
- Plaza, P. I. y Lambertucci, S. A. (2020). Ecology and conservation of a rare species: What do we know and what may we do to preserve Andean condors? *Biological Conservation*, 251, 108782. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108782>
- Plumb, R. T., Lautenbach, J. M., Robinson, S. G., Haukos, D. A., Winder, V. L., Hagen, C. A., ... y Dahlgren, D. K. (2019). Lesser prairie-chicken space use in relation to anthropogenic structures. *The Journal of Wildlife Management*, 83(1), 216-230. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21561>
- Ponce, C., Alonso, J.C., Argandoña, G., García Fernández, A. y Carrasco, M. (2010). Carcass removal by scavengers and search accuracy affect bird mortality estimates at power lines. *Animal Conservation*, 13(6), 603-612. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2010.00387.x>

- Preformed Line Products (PLP) (s.f.). *Raptor Clamp™ Diverter*. Extraído el 21 de julio de 2025 de <https://plp.com/energy/distribution/wildlife-protection/raptor-clamp-diverter>
- Prestes, N. P., Martinez, J., Tomasi Jr, R., Fraga, M. F., Correa, C. H., Fontoura, H., ... Israel, C. L. (2024). Interações das aves silvestres com as torres de transmissão de energia elétrica no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Caderno Pedagógico*, 21(10), e9581-e9581. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n10-273>
- Pretorius, M., Page, S., Hoogstad, C., Michael, M. y Blofield, A. (2016). *Investigating the impacts on wooden Distribution poles in the Kruger National Park by large mammals and testing the effectiveness of four mitigation products*. Research Report RES/RR/15/1785096. Eskom.
- Pretorius, M. D., Leeuwner, L. y Hoogstad, C. (2017). *Evaluating the effectiveness of the "Owl Device" – a nocturnal bird flight diverter for night-flying birds*. Report no. RES/RR/16/1841861. Eskom Holdings SOC Ltd.
- Pretorius, M. D., Galloway-Griesel, T. L., Leeuwner, L., Michael, M. D., Durgapersad, K. y Chetty, K. (2023). Defining Collision Risk: Lesser Flamingo *Phoeniconaias minor* Power Line Collision Sensitivity and Exposure for Proactive Mitigation. *Birds*, 4(4), 315-329. <https://doi.org/10.3390/birds4040027>
- Prinsen, H. A. M., Boere, G. C., Pires, N. y Smallie, J. J. (2011a). *Review of the conflict between migratory birds and electricity power grids in the African-Eurasian region*. Technical Series No. 20. CMS y AEWA.
- Prinsen, H. A. M., Smallie, J. J., Boere, G. C. y Pires, N. (2011b). *Guidelines on how to avoid or mitigate impact of electricity power grids on migratory birds in the AfricanEurasian region*. Technical Series No. 20. CMS y AEWA.
- Printes, R. C. (1999). The Lami Biological Reserve, Rio Grande do Sul, Brazil and the danger of power lines to howlers in urban reserves. *Neotropical Primates* 7(4):135-136.
- Pruett, C. L., Patten, M. A. y Wolfe, D. H. (2009). Avoidance behavior by prairie grouse: implications for development of wind energy. *Conservation Biology*, 23(5), 1253-1259. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01254.x>
- Puebla, A. I. (2023). *Global patterns of mammal electrocution by power lines* [Trabajo fin de máster]. Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España.
- Qaneer, T. y Demerdzhiev, D. (2022). First Data on Bird Electrocution in Jordan, with Comments on the Undertaken Conservation Efforts. *Acta Zoologica Bulgarica, Supplement* 17, 59-66. https://www.acta-zoologica-bulgarica.eu/2023/Suppl_17_10
- Raab, R., Spakovszky, P., Julius, E., Schuetz, C. y Schulze, C. H. (2011). Effects of power lines on flight behaviour of the West-Pannonian Great Bustard *Otis tarda* population. *Bird Conservation International*, 21(2), 142-155. <https://doi.org/10.1017/S0959270910000432>
- Raab, R., Schütz, C., Spakovszky, P., Julius, E. y Schulze, C. H. (2012). Underground cabling and marking of power lines: conservation measures rapidly reduced mortality of West-Pannonian Great Bustards *Otis tarda*. *Bird Conservation International*, 22(3), 299-306. <https://doi.org/10.1017/S0959270911000463>

- Ram, C., Sharma, G. y Rajpurohit, L. S. (2015). Mortality and threats to Hanuman langurs (*Semnopithecus entellus entellus*) in and around Jodhpur (Rajasthan). *Indian Forester* 141, 1042-1045. <https://doi.org/10.36808/if/2015/v141i10/80629>
- Raptor Protection of Slovakia (RPS) (2021). *Electrocutions & Collisions of Birds in EU Countries: The Negative Impact & Best Practices for Mitigation*. RPS y NABU. <https://danubefreesky.eu/images/presentations-studies/Electrocutions%20and%20Collisions%20of%20Birds%20in%20EU%20Countries%20The%20Negative%20Impact%20and%20Best%20Practices%20for%20Mitigation.pdf>
- Ravache, A., Barré, K., Normand, B., Goislot, C., Besnard, A. y Kerbiriou, C. (2024). Monitoring carcass persistence in windfarms: Recommendations for estimating mortality. *Biological Conservation*, 292, 110509. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110509>
- Ravache, A., Huso, M., Barré, K., Normand, B., Sotillo, A., Besnard, A. y Kerbiriou, C. (2026). Habitat and site age drive carcass persistence at wind energy facilities: Evidence from a large-scale analysis. *Journal of Environmental Management*, 401, 128906. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2026.128906>
- Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto [Gobierno de España]. Por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión. Boletín Oficial del Estado, 222, de 13 de septiembre de 2008. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2008/08/29/1432/con>
- Rebolo-Ifrán, N., Plaza, P., Pérez-García, J. M., Gamarra-Toledo, V., Santander, F. y Lambertucci, S. A. (2023). Power lines y birds: An overlooked threat in South America. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 21(1), 71-84. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2022.10.005>
- Red Eléctrica Española (2017). *Identificación, caracterización y cartografiado de los corredores de vuelo de las aves que interactúan con las líneas de eléctricas de alta tensión*. Informe resumen del proyecto. Red Eléctrica Española. www.ree.es/sites/default/files/page/2017/11/file/corredores-de-vuelo-resumen.pdf
- Red de observadores de Chile (ROC) (s.f.). *Golondrina de mar negra*. *Hydrobates markhami*. Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile. Extraído el 10 de octubre de 2025 de <https://www.redobservadores.cl/aes/golondrina-de-mar-negra/>
- Renewables Grid Initiative (RGI) (2024). *Avian-Power Line Collision. Overview of Risk Factors & Effectiveness of Wire Markers*. Methodology Report. RGI. Disponible en: <https://renewables-grid.eu/resources/wire-marker-effectiveness-review/>
- RGI (2024). *Key Principles for a Bird-Friendly Electricity Grid in Europe from the European conservation community*. RGI. Disponible en: <https://www.safelines4birds.eu/post/launch-of-the-key-principles-for-a-bird-friendly-electricity-grid-in-europe-from-the-european-cons>
- Renssen, T. A. (1975). *Vogelsterfte in Nederland tengevolge van aanvaringen hoogspanningslijnen*. Report. Dutch Institute for Forestry and Nature Research (IBN-DLO).
- Resolución Exenta de Calificación Ambiental 1112 de 2019 [Servicio de Evaluación Ambiental, Gobierno de Chile]. Proyecto “Nuevas Líneas 2x220 kV entre Parinacota y Cóndores”, Red eléctrica del Norte S.A. 29 de noviembre de 2019. https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=2141074139

- Resolución Exenta 5/ROL F-033 de 2021 [Superintendencia del Medio Ambiente, Gobierno de Chile]. Por la que aprueba programa de cumplimiento refundido con correcciones; suspende el procedimiento sancionatorio y resuelve lo que indica. 29 de noviembre de 2021. <https://snifa.sma.gob.cl/General/Descargar/20603048459>
- Resolución Exenta 2240 de 2024 [Superintendencia del Medio Ambiente, Gobierno de Chile]. Tiene por ejecutado satisfactoriamente el Programa de Cumplimiento y pone término al Procedimiento Administrativo Sancionatorio, ROL F-033-2022, seguido en contra de Red Eléctrica del Norte S.A. 29 de noviembre de 2024. <https://snifa.sma.gob.cl/General/Descargar/20607078353>
- Ribeiro-Silva, J., Ribeiro, H., Pedroso, N. M., Mira, A. y Sillero, N. (2025). Species-Specific Effects of a Sound Prototype to Reduce Bird Use of Powerline Poles. *Ecologies*, 6(1), 12. <https://doi.org/10.3390/ecologies6010012>
- Rodríguez, K., Lara, L. R., Molina-Rodríguez, J. P., Sánchez, A., Ramírez, D., Ramírez, S. y Castillo, E. (2023). *Guía para la prevención y mitigación de la electrocución de la fauna silvestre por tendidos eléctricos en Costa Rica. Tercera Edición*. Ministerio de Ambiente y Energía, Costa Rica. Disponible en: <https://costaricasilvestre.go.cr/wp-content/uploads/2024/02/Guia-de-Electrocucion-2023.pdf>
- Rollán, Á., Real, J., Bosch, R., Tintó, A. y Hernández-Matías, A. (2010). Modelling the risk of collision with power lines in Bonelli's Eagle *Hieraetus fasciatus* and its conservation implications. *Bird Conservation International*, 20(3), 279-294. <https://doi.org/10.1017/S0959270910000250>
- Russell, K. N., Ikerd, H. y Droege, S. (2005). The potential conservation value of unmoved powerline strips for native bees. *Biological Conservation*, 124(1), 133-148. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.01.022>
- Saavedra-Rodríguez, C. A., Lizcano, Á. y Corrales, J. D. (2013). Incidentes de fauna silvestre en líneas de energía en zona rural del Valle del Cauca, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 3(2), 85-89. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5168129.pdf>
- Sánchez, R., Sánchez, J., Oria, J. y Guil, F. (2020). Do supplemental perches influence electrocution risk for diurnal raptors? *Avian Research*, 11(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s40657-020-00206-9>
- SAPREM (s.f.). *Balizas salvapájaros, esféricas y luminosas*. Extraído el 23 de abril de 2025 de <https://saprem.com/balizas/>
- Sarasola, J. H. y Zanón-Martínez, J. I. (2017). Electrocutación de aves en líneas eléctricas: la muerte silenciosa de las grandes rapaces. En: Di Pangrazio, A., Nápoli, A. y Garro Vida, M. E. (Eds.) *Informe Ambiental 2017* (pp. 219-230). Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN). https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2020/06/2017_IAF.pdf
- Sarasola, J. H., Grande, J. M. y Bechard, M. J. (2018). Conservation status of Neotropical raptors. En: Sarasola, J. H., Grande, J. M. y Negro, J. J. (Eds.). (2018). *Birds of prey: biology and conservation in the XXI century*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73745-4>
- Sarasola, J. H., Galmes, M. A. y Watts, B. D. (2020). Electrocutation on power lines is an important threat for the endangered Chaco Eagle (*Buteogallus coronatus*) in Argentina. *Journal of Raptor Research*, 54(2), 166-171. <https://doi.org/10.3356/0892-1016-54.2.166>

- Sarasola, J. H., Martínez-Miranzo, B. y Gallego, D. (2022). Power lines and wildlife in South America. En: Martín Martín, J., Garrido López, J. R., Clavero Sousa, H. y Barrios, V. (Eds.) *Wildlife and power lines. Guidelines for preventing and mitigating wildlife mortality associated with electricity distribution networks* (pp. 188-191). IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2022.10.en>
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., ... de la Masa, J. (2017). *Capital natural de México. Síntesis: Evaluación del conocimiento y tendencias de cambio, perspectivas de sustentabilidad, capacidades humanas e institucionales*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Disponible en: http://www2.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Sintesis_CNM_2017.pdf
- Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) (2015). *Guía para la evaluación del impacto ambiental de proyectos eólicos y de líneas de transmisión eléctrica en aves silvestres y murciélagos. Primera edición*. Ministerio de Agricultura, Chile. https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/guia_proyectos_eolicos.pdf
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). (2023). *Criterio de evaluación en el SEIA: Evaluación de impactos por radiación electromagnética en proyectos de transmisión eléctrica*. Servicio de Evaluación Ambiental, Chile. Disponible en: <https://www.sea.gob.cl/documentacion/guias-y-criterios/criterio-de-evaluacion-en-el-seia-evaluacion-de-impactos-por>
- Schulze, C., Peters, M., Baumgärtner, W. y Wohlsein, P. (2016). Electrical Injuries in Animals: Causes, Pathogenesis, and Morphological Findings. *Veterinary Pathology*, 53(5), 1018-1029. <https://doi.org/10.1177/0300985816643371>
- Schutgens, M., Shaw, J. M. y Ryan, P. G. (2014). Estimating scavenger and search bias for collision fatality surveys of large birds on power lines in the Karoo, South Africa. *Ostrich*, 85(1), 39-45. <https://doi.org/10.2989/00306525.2014.888691>
- 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(5), 836-845. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00946.x>
- Serratos, J., Oppel, S., Rotics, S., Santangeli, A., Butchart, S. H., Cano-Alonso, L. S., ... Kalvāns, A. (2024). Tracking data highlight the importance of human-induced mortality for large migratory birds at a flyway scale. *Biological Conservation*, 293, 110525. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110525>
- Shaw, J. M., Jenkins, A. R., Smallie, J. J. y Ryan, P. G. (2010). Modelling powerline collision risk for the Blue Crane *Anthropoides paradiseus* in South Africa. *Ibis*, 152(3), 590-599. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2010.01039.x>
- Shaw, J. M., Reid, T. A., Schutgens, M., Jenkins, A. R. y Ryan, P. G. (2018). High power line collision mortality of threatened bustards at a regional scale in the Karoo, South Africa. *Ibis*, 160(2), 431-446. <https://doi.org/10.1111/ibi.12553>

- Shaw, J. M., Reid, T. A., Gibbons, B. K., Pretorius, M., Jenkins, A. R., Visagie, R., ... Ryan, P. G. (2021). A large-scale experiment demonstrates that line marking reduces power line collision mortality for large terrestrial birds, but not bustards, in the Karoo, South Africa. *The Condor*, 123(1), duaa067. <https://doi.org/10.1093/ornithapp/duaa067>
- Shepherd, S., Lima, M. A. P., Oliveira, E. E., Sharkh, S. M., Jackson, C. W. y Newland, P. L. (2018). Extremely low frequency electromagnetic fields impair the cognitive and motor abilities of honey bees. *Scientific reports*, 8(1), 1-9. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-26185-y>
- Shimada, T. (2001). Choice of daily flight routes of Greater White-fronted Geese: Effects of power lines. *Waterbirds*, 24(3), 425-429. <https://doi.org/10.2307/1522075>
- Shobrak, M. (2012). Electrocution and collision of birds with power lines in Saudi Arabia: (Aves). *Zoology in the Middle East*, 57(1), 45-52. <https://doi.org/10.1080/09397140.2012.10648962>
- Sielicki, J., Cardenal, A. C., Conzo, L. A., Garrido, J. R., Martín Martín, J. y Adamczyk, R. (2020). *Quick Guidance for Preventing Electrocution Impacts on Birds. Reference note*. International Association for Falconry and Conservation of Birds of Prey. <https://iaf.org/wp-content/uploads/2021/02/2020-IAF-Quick-Guidance-Preventing-Electrocution-20201230.pdf>
- Silva, J. P., Santos, M., Queirós, L., Leitão, D., Moreira, F., Pinto, M., ... Cabral, J. A. (2010). Estimating the influence of overhead transmission power lines and landscape context on the density of little bustard *Tetrax tetrax* breeding populations. *Ecological Modelling*, 221(16), 1954-1963. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.03.027>
- Silva, J. P., Palmeirim, J. M., Alcazar, R., Correia, R., Delgado, A. y Moreira, F. (2014). A spatially explicit approach to assess the collision risk between birds and overhead power lines: a case study with the little bustard. *Biological Conservation*, 170, 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.026>
- Silva, J. P., Marques, A. T., Bernardino, J., Allinson, T., Andryushchenko y., Dutta, S., ... Collar, N. J. (2023). The effects of powerlines on bustards: how best to mitigate, how best to monitor? *Bird Conservation International*, 33, e30. <https://doi.org/10.1017/S0959270922000314>
- Slater, S. J., Dwyer, J. F. y Murgatroyd, M. (2020). Conservation letter: Raptors and overhead electrical systems. *Journal of Raptor Research*, 54(2):198-203. <https://doi.org/10.3356/0892-1016-54.2.198>
- Šmíd, J., Hapl, E. y Gális, M. (2019). Methodology of risk assessment for electricity distribution lines in Slovakia with regard to potential bird mortality due to collisions with power lines. *Raptor Journal*, 13(1), 61-73. <https://doi.org/10.2478/srj-2019-0008>
- Sociedad Española de Ornitología (SEO)/BirdLife (2023). *Informe sobre las causas de mortalidad no natural de avifauna en España*. Proyecto LIFE Guardianes de la Naturaleza. SEO/BirdLife. Disponible en: <https://guardianes.seo.org/download/informe-sobre-las-causas-de-mortalidad-no-natural-de-avifauna-en-espana/>
- Solberg, I. A. (2024). *Balancing Renewable Energy and Biodiversity: Impact from Habitat Loss and Collisions in Future Norwegian Photovoltaic Solar Parks* [Tesis de maestría]. Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología. <https://hdl.handle.net/11250/3146112>

- Solt, Sz., Horváth, M. y Tóth, P. (2021). *KEHOP-4.3.0 Szabadvezetékes elem konfliktustérkép tanulmány (Verzió 1.0)*. Agrárminisztérium/MME – Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület. <https://www.knp.hu/uploads/2021/09/kehop430-szabadvezetekes-elem-konfliktusterkep-tanulmany-mme-1-0-13085234.pdf>
- Soria, M. A. y Guil, F. (2017). Primera aproximación general al impacto provocado por la electrocución de aves rapaces: incidencia sobre las aves e impacto económico asociado. *Actas del 7º Congreso Forestal Español*, 26-30 de junio. Plasencia, España. <https://7cfe.congresoforestal.es/sites/default/files/actas/7cfe01-360.pdf>
- Southern Engineering Company (1996). *Animal-caused outages. Rural Electrical Research (RER) Project 94-5*. National Rural Electric Cooperative Association (NRECA).
- Sözüer, L. A., Sözüer, Ö., Arkumarev, V. y Oppel, S. (2022). Study on the mortality of birds caused by the power grid in Adana and Mersin Regions, Turkey, during the autumn migration 2019. Technical report under action A3 of the “Egyptian Vulture New LIFE” (LIFE16 NAT/BG/000874) project. *Vulture News*, 83. Disponible en: <https://lifeneophron.eu/back2/public/files/documents/aktay-sozuer-et-al-2019-5e4b99e4cdcdc7.pdf>
- Stemmerman, L. A. (1988). Observation of woodpecker damage to electrical distribution line poles in Missouri. *Proceedings of the Vertebrate Pest Conference*, 13, 260-265. Disponible en: <https://escholarship.org/uc/item/4872h60p>
- Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) (s.f.). Información solicitada por medio del portal de transparencia <https://www.consejotransparencia.cl/portal-de-transparencia/>. Ministerio de Energía, Chile. (Consultado el 25 de julio de 2025).
- Syphard, A. D. y Keeley, J. E. (2015). Location, timing and extent of wildfire vary by cause of ignition. *International Journal of Wildland Fire*, 24(1), 37-47. <https://doi.org/10.1071/WF14024>
- Talukdar, N. R., Singh, B. y Choudhury, P. (2018). Conservation status of some endangered mammals in Barak Valley, Northeast India. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 11(2), 167-172. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2018.01.011>
- Taylor, I. (1994). *Barn owls. Predator-prey relationships and conservation*. Cambridge University Press.
- Tella, J. L., Hernández-Brító, D., Blanco, G. y Hiraldo, F. (2020). Urban sprawl, food subsidies and power lines: An ecological trap for large frugivorous bats in Sri Lanka? *Diversity*, 12(3), 94. <https://doi.org/10.3390/d12030094>
- Thady, R. G., Emerson, L. C. y Swaddle, J. P. (2022). Evaluating acoustic signals to reduce avian collision risk. *PeerJ*, 10, e13313. <https://peerj.com/articles/13313/>
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., ... Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970), 145-148. <https://doi.org/10.1038/nature02121>
- Thomason, E. C., Turley, N. J., Belthoff, J. R., Conkling, T. J. y Katzner, T. E. (2023). Illegal shooting is now a leading cause of death of birds along power lines in the western USA. *iScience*, 26(8), 107274. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107274>

- Thompson, D. J. y Jenks, J. A. (2007). Cougar Mortality Attributed to Electrocution from Power Lines in South Dakota. *The Prairie Naturalist*, 39, 191-193.
- Tincher, M. C., Dwyer, J. F., Kratz, G. E., Watrud, A. y Harness, R. E. (2020). Perch management may reduce raptor electrocution risk on horizontal post insulators. *Journal of Raptor Research*, 54(2), 186-192. <https://doi.org/10.3356/0892-1016-54.2.186>
- Tintó, A., Real, J. y Mañosa, S. (2010). Predicting and correcting electrocution of birds in Mediterranean areas. *Journal of Wildlife Management*, 74(8), 1852-1862. <https://doi.org/10.2193/2009-521>
- Tracey, J. y Saunders, G. (2003). *Bird damage to the wine grape industry*. Report to the Bureau of Rural Sciences. Department of Agriculture, Fisheries and Forestry. NSW Agriculture. Disponible en: <https://pestsmart.org.au/wp-content/uploads/sites/3/2020/06/bird-damage-wine-grape-industry.pdf>
- 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. Memoria final*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/especies-silvestres/tendidos/ce-silvestres-tendidos-doc_tecnica.html
- Tryjanowski, P., Kosicki, J. Z., Kuźniak, S. y Sparks, T.H. (2009). Long-term changes and breeding success in relation to nesting structures used by the white stork, *Ciconia ciconia*. *Annales Zoologici Fennici*, 46(1), 34-39. <https://doi.org/10.5735/086.046.0104>
- Tyler, N., Stokkan, K. A., Hogg, C., Nellemann, C., Vistnes, A. I. y Jeffery, G. (2014). Ultraviolet vision and avoidance of power lines in birds and mammals. *Conservation Biology*, 28(3), 630-631. <https://doi.org/10.1111/cobi.12262>
- Uddin, M., Dutta, S., Kolipakam, V., Sharma, H., Usmani, F. y Jhala, Y. (2021). High bird mortality due to power lines invokes urgent environmental mitigation in a tropical desert. *Biological Conservation*, 261, 109262. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109262>
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (2016). *Un Estándar Global para la Identificación de Áreas Clave para la Biodiversidad (KBA), Versión 1.0. Primera edición*. UICN. <https://portals.iucn.org/library/node/46319>
- UICN, Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible (CAGPDS) y Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification (HCEFLCD) (2018). *Plan d'action pour mettre en place des mesures de correction urgentes dans les infrastructures électriques les plus dangereuses pour les oiseaux dans le secteur de Guelmin (Oued Bouissafène)* [No publicado]. UICN.
- UICN y Département des Eaux et Forêts (DEF) (2020). *Premier dénombrement national des rapaces rupicoles diurnes du Maroc. Résultats 2019*. UICN y DEF. <https://portals.iucn.org/library/node/49103>
- Vargas, S. (2016). *Risk Communication in Chile: A Study of 2014 Valparaíso Wildfire* [Tesis de maestría]. Universidad Simon Fraser, Canadá. Disponible en: <https://summit.sfu.ca/item/16691>

- Vedamanickam, S., Allwin, B., Gopal, S. y Manoj, K. (2015). Incidence of Electrocution of a Leopard (*Panthera pardus*) in the Nilgiris, Tamil Nadu. *EC Veterinary Science*, 2, 60-65. <https://ecronicon.net/assets/ecve/pdf/ECVE-02-00009.pdf>
- Verbelen, D., Bovens, W., Dwyer, J. F. y Swinnen, K. (2024). Wire marking reduces bird collisions with a transmission powerline in western Belgium. *Bird Conservation International*, 34, e25. <https://doi.org/10.1017/S0959270924000169>
- Wagner, D. L., Metzler, K. J. y Frye, H. (2019). Importance of transmission line corridors for conservation of native bees and other wildlife. *Biological conservation*, 235, 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.03.042>
- White, T. B., Serratos, J., Allinson, T., Jones, V. R., Petrovan, S. O., Jobson, B. R. y Sutherland, W. J. (2024). Assessing costs and cost-effectiveness across the mitigation hierarchy: An example considering the reduction of bird mortality at power lines. *Biological Conservation*, 296, 110651.
- Widger, P. y Haddad, A. M. (2018). Evaluation of SF6 leakage from gas insulated equipment on electricity networks in Great Britain. *Energies*, 11(8), 2037. <https://doi.org/10.3390/en11082037>
- Yang, L., Fan, J., Liu, Y., Li, E., Peng, J. y Liang, Z. (2020). A Review on State-of-the-Art Power Line Inspection Techniques. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69(12), 9350-9365. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9225728>
- Yi, Y., Ham, S., Oktaviani, R., Dewi, M. C., Nur, M., Mardiasuti, A. y Choe, J. C. (2022). Cases of fatal electrocution of the endangered Javan gibbons (Mammalia: Primates: Hylobatidae) by power lines. *Journal of Threatened Taxa*, 14(5), 20964-20969. <https://doi.org/10.11609/jott.7758.14.5.20964-20969>



Apéndices

Introducción

El objetivo general de estos apéndices es mostrar en detalle las medidas preventivas, correctoras y mitigadoras presentadas en los capítulos 4 y 5, así como recomendaciones para su correcta implementación. Su contenido puede resumirse de la siguiente manera:

El **Apéndice A** trata más en detalle la peligrosidad de los postes según su diseño y cubre medidas antielectrocución dirigidas a las aves en general, aunque aplicables a otros grupos faunísticos en combinación con las medidas que se tratan en el Apéndice C. Estas medidas pueden servir tanto para reducir o eliminar el riesgo de electrocución como para prevenirlo, enfocadas a líneas existentes, si bien son aplicables también a líneas de nueva construcción (como complemento al Apéndice B).

- En la Sección I se explica qué diseños de soporte son los más peligrosos y qué distancias de seguridad entre elementos se deben adoptar para que los diseños sean seguros.
- La Sección II presenta una tipología de soportes, clasificándolos según la disposición de los elementos en la cruceta, presentados en forma de fichas técnicas. Esta clasificación se puede utilizar para caracterizar líneas eléctricas en cualquier parte del mundo. Se evalúa el nivel de peligrosidad para cada tipo y se muestran las medidas correctoras más efectivas para reducir el riesgo.
- La Sección III es una galería de fotos que muestra ejemplos de los diferentes tipos de poste y medidas correctoras.

El **Apéndice B** propone directrices generales para líneas eléctricas de nueva construcción, con las características que deben tener las nuevas líneas para ser seguras para la fauna, y para la adecuación de las existentes. Incluye recomendaciones para medidas contra la electrocución y sobre el correcto uso e instalación de los dispositivos de aislamiento (Sección I). También incluye recomendaciones de medidas anticollisión y para la instalación de los marcadores visuales, describiendo las líneas en las que deben instalarse (Sección II).

El **Apéndice C** incluye medidas específicas para líneas e instalaciones eléctricas situadas en entornos boscosos, donde los animales de hábitos arborícolas pueden tener interacciones adicionales con estas infraestructuras y será necesario tomar

medidas de otro tipo. Estas medidas también son aplicables en otros entornos no boscosos, como matorrales o estepas, donde estén presentes especies trepadoras capaces de acceder a postes y a otras instalaciones, como subestaciones.

- La Sección I describe medidas preventivas para asegurar las subestaciones y estaciones transformadoras frente a interacciones con ese tipo de fauna.
- La Sección II trata de las medidas preventivas para asegurar soportes y cables.

Apéndice A. Electroculión de aves: diseños peligrosos y seguros y propuesta de medidas preventivas, mitigadoras y correctoras

Justo Martín Martín¹ y José Rafael Garrido López²

¹ *JMM Consultant^T (consultor independiente)*

² *Agencia de Medio Ambiente y Agua, Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente, Junta de Andalucía, España*

Sección I. Diseños peligrosos y distancias de seguridad

El riesgo de electroculión está fuertemente condicionado por el diseño de los postes que sustentan los conductores, en particular por la separación entre estos últimos y por la distancia con la cruceta y otros elementos. Los diseños más seguros serán aquellos en los que, desde cualquiera de las zonas potenciales de posada, la distancia a un elemento en tensión (conductor, puente, cables conectores, dispositivo, etc.) sea mayor, y viceversa.

Por motivos de seguridad y eficacia en la transmisión de energía, las distancias entre elementos con diferente tensión son mayores a medida que se aumenta el voltaje.

Las líneas de alta tensión, superiores a los 45 kV, requieren postes de mayor tamaño, con una gran separación entre conductores y cadenas de aisladores muy largas, de manera que los puntos de posada se encuentran alejados de conductores y puentes. En los postes de estas líneas con voltajes de 60 kV o más llegan a producirse algunas electrocuciones, si bien la mayor parte de las veces por formación de arco eléctrico, corriente de fuga o circunstancias azarosas, como el contacto entre dos aves con dos conductores en un choque simultáneo o entre la cruceta y un conductor a través de dos aves posadas en la cruceta; se puede decir que en esas líneas las electrocuciones son, además de raras, prácticamente impredecibles.

Así, las líneas de media tensión, de voltajes inferiores a 45 kV y con una separación mucho menor entre elementos, concentran la mayor parte de las electrocuciones. Las de baja tensión (menores de 1 kV) pueden ser igualmente peligrosas si portan conductores desnudos, ya que las distancias son aún menores y su voltaje es suficiente como para matar o dejar gravemente herido un animal.

Como la **electrocución depende de que el ave entre en contacto simultáneamente con dos puntos con diferente potencial**, el riesgo de electrocución en un poste o pilón determinado depende de la configuración y la estructura de la cruceta. Los diseños de crucetas que facilitan dicho contacto (aisladores y seccionadores verticales, puentes encima de ellos, transformadores, etc.) presentan un alto riesgo. En general, el riesgo es mucho mayor cuando la cruceta o todo el poste es de metal o de hormigón armado, por la existencia de bajadas a tierra. Los postes de madera u otros materiales aislantes que no las requieren son más seguros (ver apartado 4.1)

También influyen en el riesgo las opciones de posado que pueda ofrecer el poste (Figura A.1).

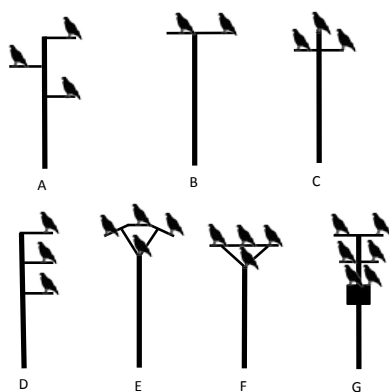


Figura A.1. Posibles puntos de posado en diferentes configuraciones de cruceta. A: configuración alterna (o escalonada); B: configuración horizontal; C: configuración en forma de cruz; D: configuración vertical; E: configuración en bóveda; F: configuración en bóveda plana; G: soporte especial (con transformador en este ejemplo). Fuente: elaboración propia

Como se ha visto (capítulo 4), la electrocución normalmente se produce como resultado del contacto de dos partes desnudas del ave que no están cubiertas de plumas (carpos, cabeza, patas); teniendo esto en cuenta, en función de la configuración de la cruceta se deben considerar varias distancias críticas básicas de las que depende su peligrosidad.

Estas distancias entre diferentes partes del poste se refieren a postes con cruceta provista de bajada a tierra, ya sean ambas partes o solo una de ellas de metal, hormigón armado, madera o cualquier otro material y la conexión sea a través del propio pilón o por un cable externo.

Para crucetas que no tengan bajada a tierra, ya sea porque la propia cruceta y/o el poste sean de un material no conductor (madera generalmente), en condiciones normales la electrocución sólo puede ocurrir por contacto entre dos conductores; en consecuencia, la única distancia a considerar es esa, sin olvidar que en circunstancias de alta humedad ambiental (nieblas, lluvias) cualquier material se puede comportar como conductor si está recubierto por agua.

Para que un diseño de cruceta o un poste determinado se considere seguro, las **distancias críticas** deben ser lo suficientemente grandes como para evitar que se produzca la electrocución de las aves que puedan utilizarlo, teniendo en cuenta su envergadura y altura, en concreto la separación entre los dos carpos del ala (los vértices flexores) y entre ellos y el extremo de las extremidades inferiores. En climas húmedos donde el plumaje del ave suele estar húmedo, se deben considerar distancias incluso mayores, tomando entonces las puntas de las alas en lugar de los vértices flexores como puntos de referencia.

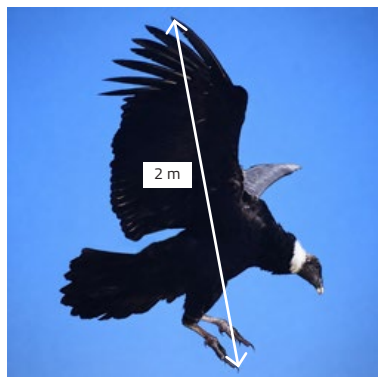


Figura A.2. La envergadura y el alcance vertical del ave determinan las distancias críticas. Distancia vertical entre el extremo de las alas y las patas en el caso de un cóndor andino aterrizando. Elaborado a partir de imagen de Viviane Paes de Barros vía iNaturalist Chile. CC BY-NC 4.0

El valor de las distancias críticas depende del tamaño de las aves más grandes presentes susceptibles de electrocutarse. Normalmente esas aves son algún tipo de rapaz, de manera que la especie de este tipo de mayor tamaño es la que va a marcar los valores críticos. En el caso de Latinoamérica, un ejemplo es el cóndor andino (*Vultur gryphus*), que cuenta con una envergadura de alrededor de 3 m, correspondiente a una longitud entre vértices flexores de alrededor de 1,7 m y de 2 m en alcance vertical desde la punta del ala al extremo de las patas (Figuras A.2 y A.3).

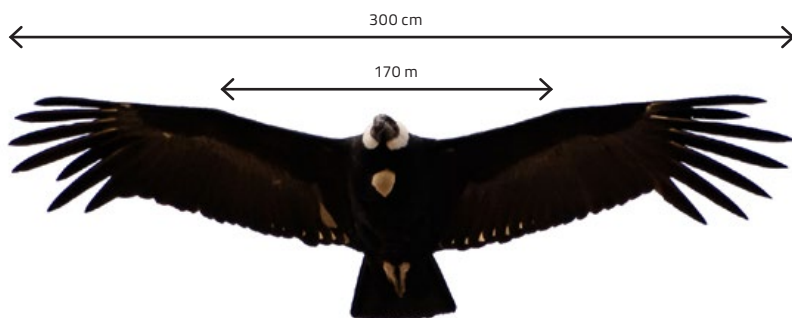


Figura A.3. Envergadura y distancias entre vértices flexores en el cóndor andino. © Elaborado a partir de imagen de Miguel A. Casado vía iNaturalist Chile. CC BY-NC 4.0

Teniendo en cuenta estas dimensiones del cóndor andino, los valores de seguridad de las distancias críticas para las configuraciones más comunes serían las de la Tabla A-1.

Tabla A-1. Valores seguros de distancias críticas básicas para evaluar el nivel de peligrosidad de una configuración de cruceta, teniendo en cuenta las aves de mayor tamaño que pueden electrocutarse. Se considera que todas tienen elementos metálicos y bajada a tierra.

CÓDIGO DISTANCIA*	CONFIGURACIÓN DE CRUCETAS	DISTANCIA CRÍTICA BÁSICA	VALOR SEGURO
D1	TODAS LAS CONFIGURACIONES	Distancia entre los conductores. Depende de la envergadura del ave.	1,5 metros
D2	TODAS LAS CONFIGURACIONES	Distancia vertical entre el punto donde se posa el ave y el elemento energizado más cercano en un nivel inferior (conductor o puente). Depende del riesgo de defecación y de la distancia entre la parte inferior de las patas y la punta de un ala extendida hacia abajo.	1 metro (0,7 metros)**
D3	ALTERNA	Distancia vertical entre el punto donde se posa el ave y el elemento energizado más cercano en un nivel superior (conductor o puente).	1,5 metros
	VERTICAL	Depende del alcance vertical del ave, es decir, de la distancia entre las patas y la punta de un ala extendida hacia arriba.	
D4	BÓVEDA	Distancia vertical entre la parte inferior de la cruceta y el elemento energizado más cercano en un nivel superior. Depende del alcance vertical del ave.	1 metro
D5	TODAS LAS CONFIGURACIONES EN POSTES DE RETENCIÓN	Distancia horizontal entre el punto donde se posa el ave y el elemento energizado más cercano. Depende de la distancia entre las patas y la punta del ala extendida hacia los lados.	1 metro (1,5 m para soportes de anclaje)***

Fuente: elaboración propia

* Estos códigos para cada distancia entre los elementos de las crucetas de los postes son los utilizados en las Figuras A.4-A.9 y en toda la sección II.

** Puede resultar difícil garantizar una distancia de seguridad vertical de 1 m (D2) en algunas configuraciones, pero se debería alcanzar al menos 0,70 m.

*** Una distancia de seguridad horizontal de 1 m (D5) es suficiente en la mayoría de los casos, ya que la electrocución suele producirse cuando hay contacto entre las partes desnudas del ala del ave y no con las plumas. Sin embargo, en regiones con un clima muy húmedo donde estén presentes grandes águilas o buitres, esta distancia debería aumentarse a 1,5 m, en particular si el dispositivo de anclaje (un aislador polimérico o una cadena de aisladores provista de una extensión metálica) posibilita que las aves se posen sobre él.

Considerando estos valores y los tipos de configuraciones de las crucetas, se puede determinar el peligro potencial de cada uno de los tipos. En general:

- Todas las crucetas con aisladores rígidos, independientemente de su diseño, son muy peligrosas, no hay distancias seguras, incluso si no tienen bajada a tierra.
- Las crucetas menos peligrosas son las de aisladores suspendidos en configuración horizontal o bien de configuración alterna o vertical, siempre que la separación entre un brazo lateral y el conductor o puente del brazo lateral superior sea superior a 1,5 m. La configuración horizontal tiene la ventaja añadida de que presenta un menor riesgo de colisión debido a que los conductores se disponen en un solo plano horizontal.
- Las configuraciones en bóveda con aisladores de suspensión son peligrosas si la horquilla o algún elemento de refuerzo permite que las aves se posen y la distancia al conductor o el puente central es inferior a 1 m.
- El riesgo de electrocución por defecación existe en todas las configuraciones; alcanzar longitudes de 1 m en el aislador o cadenas de aisladores lo elimina prácticamente por completo.

Las siguientes figuras muestran las **distancias de seguridad** entre elementos en las configuraciones de cruceta más comunes (Figuras A.4 a A.7):

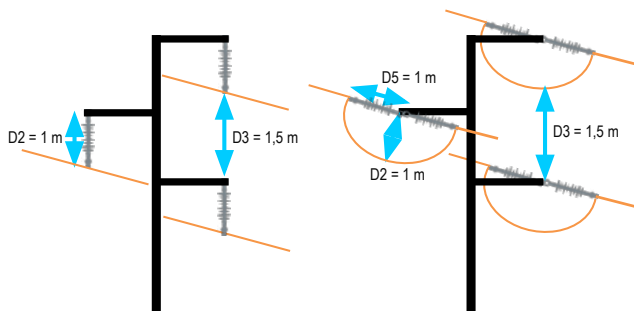


Figura A.4. Distancias seguras para una configuración alterna con aisladores suspendidos (izquierda) y puentes por debajo (derecha). Fuente: elaboración propia

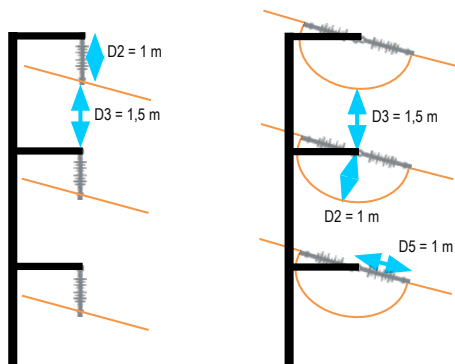


Figura A.5. Distancias seguras para conjuntos de crucetas verticales con aisladores suspendidos (izquierda) y puentes por debajo (derecha). Para configuraciones de cruceta horizontales, las medidas son las mismas que para el brazo lateral superior. Fuente: elaboración propia

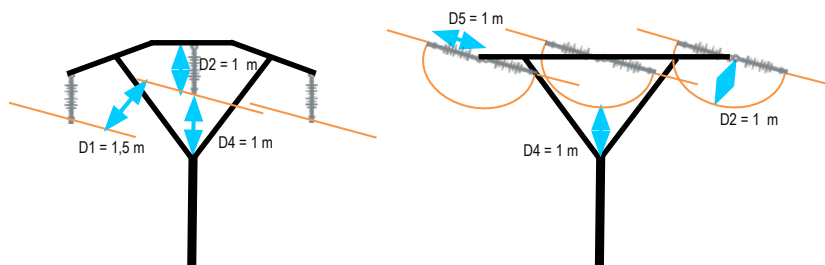


Figura A.6. Distancias seguras para una configuración en bóveda con aisladores suspendidos (izquierda) y puentes por debajo (derecha). En una configuración horizontal serían las mismas, excepto $D4$, que no existe. Fuente: elaboración propia

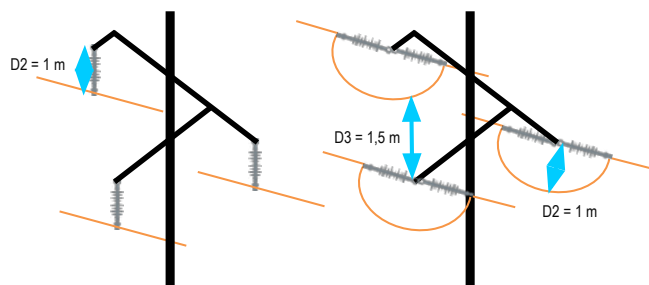


Figura A.7. Configuración canadiense, con aisladores suspendidos (izquierda) y puentes por debajo (derecha). Fuente: elaboración propia

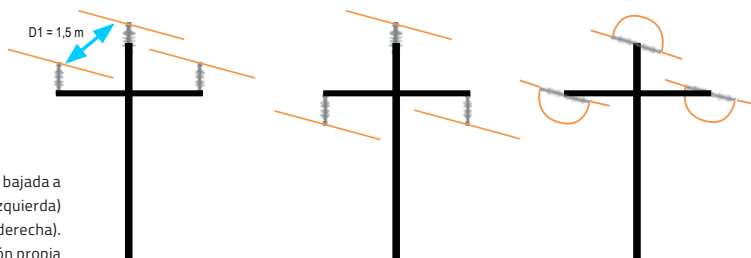


Figura A.8. Crucetas sin bajada a tierra con riesgo bajo (izquierda) y seguras (centro y derecha).
Fuente: elaboración propia

En el caso de **crucetas sin bajada a tierra**, la distancia de seguridad depende únicamente de la separación entre conductores, considerándose, como en los otros casos, 1,5 m como valor seguro. Las configuraciones horizontales con todos los aisladores rígidos o puentes en vertical son muy peligrosas. El riesgo disminuye si el conductor central está por encima de los otros dos y se alcanzan los 1,5 m de separación vertical (Figura A.8, izq.). El riesgo es nulo si los conductores laterales o puentes se disponen por debajo de la cruceta (Figura A.8, centro y dcha.).

En los postes denominados especiales, que además de conductores y aisladores están equipados con diferentes tipos de dispositivos, las conexiones existentes y los diseños que presentan multiplican el número de puntos peligrosos y las posibilidades de electrocución, lo que hace prácticamente imposible conseguir configuraciones completamente seguras, si bien, en función de los elementos y las conexiones, algunas configuraciones son mucho más peligrosas que otras. En estos casos la seguridad total solo es posible instalando dispositivos de aislamiento, aun cuando, de manera estructural, pueden conseguirse las distancias de seguridad válidas para los postes de suspensión o retención. Es muy importante que el aislamiento incluya los terminales de conexión (Figura A.9). Muchos casos de electrocución se producen en soportes en los que los cables conectores están aislados, pero los extremos (terminales) se han dejado descubiertos.

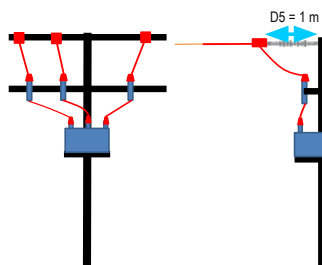


Figura A.9. Diseño general y distancias seguras para crucetas especiales. Los dispositivos deben instalarse en una cruceta inferior accesoria; además de las distancias de seguridad, hay que aislar todos los conectores y conexiones. Fuente: elaboración propia

Sección II. Tipología, niveles de riesgo y medidas antielectrocución recomendadas

La información que se presenta en esta sección está referida a una tipología de postes de media tensión basada en la configuración de la cruceta y la disposición de los diferentes elementos en ella, que facilita clasificarlos según su peligrosidad para la fauna (ver capítulo 2). **Para cada tipo de poste se da información, en formato de ficha, sobre la descripción de su diseño (tipología) y variaciones, nivel de peligrosidad, tipos de riesgo y medidas de corrección recomendadas.** Con el fin de simplificar las fichas, y dado que se enfocan principalmente en la adecuación de líneas existentes para eliminar su impacto, las medidas se indican como “**correctoras**”, aunque también podrían ser **mitigadoras** o **preventivas**. Para facilitar la lectura, se utilizan gráficos y códigos de colores que indican diferentes aspectos. Se ha procurado seguir la terminología más común en todos los países hispanohablantes, dando prioridad a las denominaciones latinoamericanas, pero incluyendo también otras utilizadas en España, en cuyo caso se indican entre paréntesis.

Se ha intentado que la recopilación de los tipos de postes presentada aquí sea lo más amplia posible, si bien dada la gran variedad de diseños y variantes existentes, no es posible incluirlos todos y habrá diseños faltantes (por ejemplo, los postes de las líneas bifásicas o monofásicas). No obstante, esperamos que la variedad de tipos y opciones presentados permita su caracterización y la identificación de sus riesgos y de las medidas correctoras más adecuadas correspondientes.

Tipologías (descripción y variaciones)

Todas las configuraciones y medidas correctoras incluidas corresponden a crucetas y soportes puestos a tierra en los que la distancia entre la cruceta y los conductores influye en el riesgo de electrocución; en el caso de los postes sin conexión a tierra, el riesgo suele ser menor, ya que solo depende de la distancia entre los conductores y de la presencia y la posición del cable neutro.

Para simplificar los gráficos se ha optado por representar líneas de distribución sin cable neutro.

Nivel de peligrosidad

Dado que un mismo tipo de soporte puede presentar diferentes niveles de peligro en función de las distancias entre sus elementos, se ha creado un código de colores para representar el nivel de peligrosidad asociado a esas distancias, tomando como valores de referencia las distancias críticas básicas del apartado anterior.

Se establecen así tres categorías para el nivel de peligrosidad:



Alto o muy alto

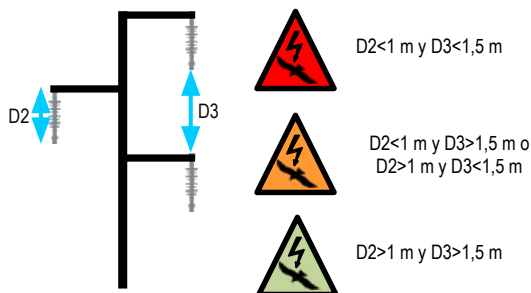


Moderado



Bajo

Para cada tipo de poste, se establecen uno o varios niveles de peligrosidad en función de su configuración y las distancias críticas básicas, representándose de la siguiente manera:



Tipos de riesgo

El riesgo de electrocución, considerando las diferentes posibilidades de que se produzca, se indica para cada tipo de poste. Se establecen 3 diferentes: contacto fase-tierra (cruceta), contacto fase-fase y contacto indirecto (a través de defecación u otras posibilidades). Cada tipo de riesgo se indica con un color diferente (Figura A.10).

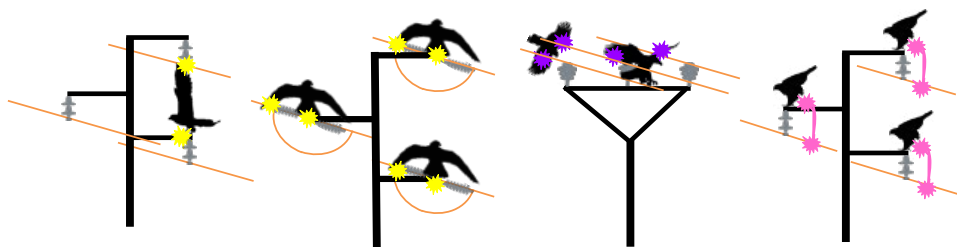


Figura A.10. Izquierda (2 imágenes): contacto fase-tierra (amarillo); centro: contacto fase-fase (violeta); derecha: contacto a través de la defecación (rosa). Fuente: elaboración propia

Medidas correctoras (o mitigadoras/preventivas)

Se proponen medidas correctoras (o de adecuación) para cada tipo de soporte, tanto no estructurales como estructurales. Las **medidas no estructurales** implican la colocación de elementos aislantes que eliminen o reduzcan el riesgo de electrocución en los puntos donde potencialmente pueden posarse las aves. Las **medidas estructurales** implican la sustitución total o parcial de la cruceta o de alguno de sus elementos para conseguir diseños con distancias seguras. Ejemplos de medidas estructurales serían el cambio de la cadena de aisladores por otra de mayor longitud o el cambio completo de la configuración de la cruceta. Las configuraciones propuestas, principalmente las medidas estructurales, serían las recomendables desde el inicio también en el caso de las líneas de nueva construcción.

La eficacia de las medidas propuestas está demostrada por la experiencia en diferentes países, aunque algunas no cuentan aun con el respaldo de estudios científicos que cuantifiquen su eficacia y durabilidad.

La sección III de este apéndice incluye una galería de fotografías de muchos de los tipos de poste representados en esta sección II para facilitar su identificación en el terreno.



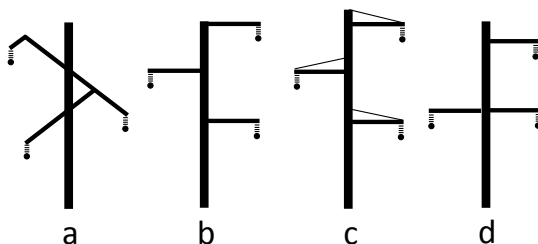
Descripción

Las fases discurren en dos planos verticales, alternándose en tres niveles horizontales, o con una fase en un nivel superior y dos en un nivel inferior. Las semicrucetas pueden ser planas o atirantadas (con un refuerzo en ángulo).

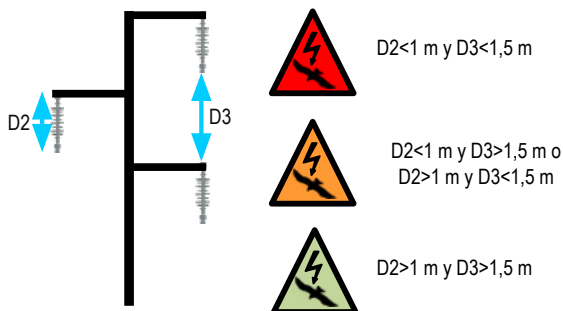


Variaciones

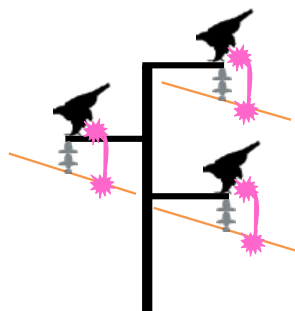
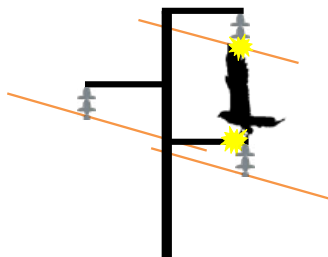
- a) tipo canadiense;
- b) alterna plana;
- c) alterna con refuerzos (atirantado);
- d) falsa alterna



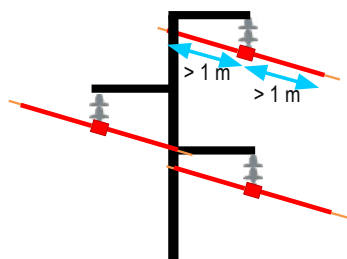
Nivel de peligrosidad



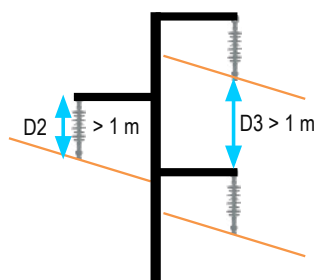

Riesgo



No estructurales: aislamiento de grapa y fases con retenedores



Estructurales:
sustitución de aisladores



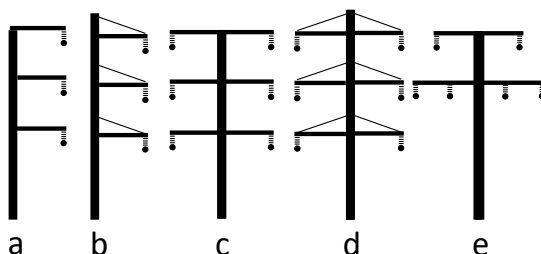
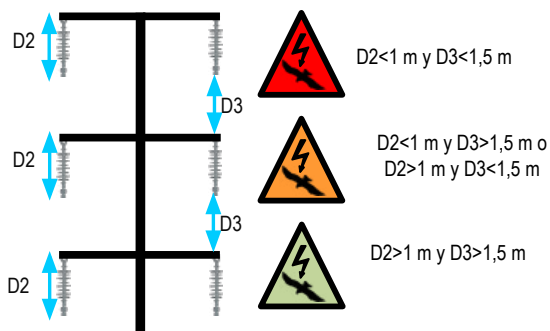

Medidas correctoras


Descripción

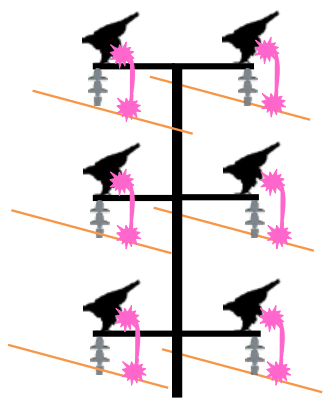
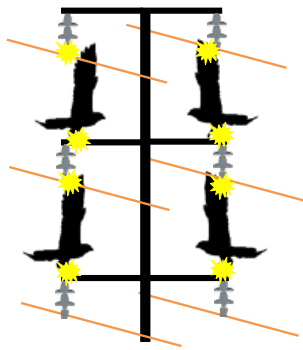
Las fases de un circuito discurren en un mismo plano vertical en tres niveles, pudiendo presentarse un solo circuito (simple o "bandera") con tres fases, o un circuito doble (con seis fases); o en dos niveles con un circuito en cada lado. Las semicrucetas pueden ser planas o atirantadas (con un refuerzo en ángulo).


Variaciones

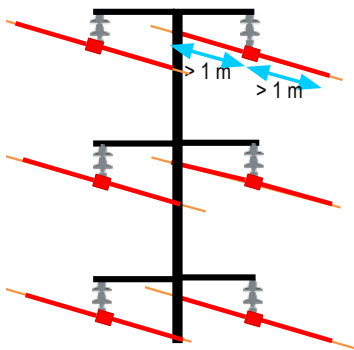
- a) circuito simple plano (las tres fases de un lado);
- b) circuito simple atirantado;
- c) doble circuito con fases en tres niveles;
- d) doble circuito en tres niveles con semicrucetas atirantadas;
- e) doble circuito en dos niveles


**Nivel de
peligrosidad**


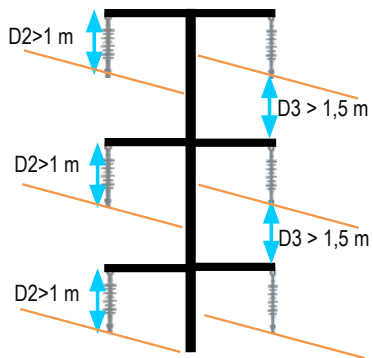

Riesgo



No estructurales: aislamiento de grapa y fases con retenedores



Estructurales:
sustitución de aisladores



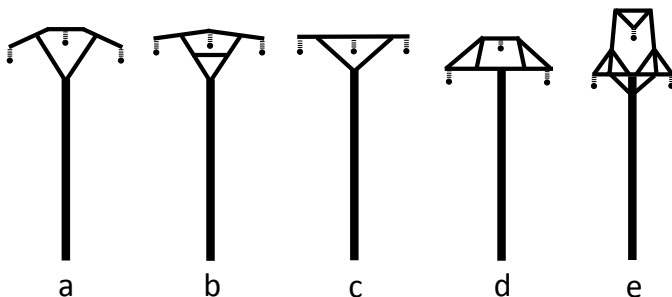
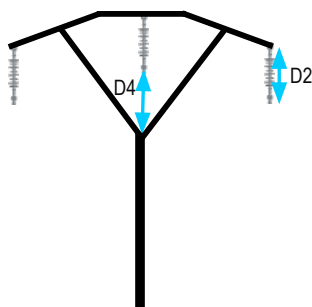

Medidas correctoras


Descripción

Disposición de las fases sobre una estructura triangular o de triángulo truncado, con la fase central más alta que las fases laterales o con todas las fases en un solo plano horizontal.


Variaciones

a) simple (configuración en dos planos horizontales); b) con travesaño central (configuración en dos planos horizontales y travesaño central que une las diagonales); c) plana (configuración en un solo plano); d) bóveda de celosía (configuración en dos planos sobre una estructura de celosía metálica en forma de triángulo truncado); e) bóveda superior o superpuesta (similar a la anterior, pero con la fase central sobre una estructura más elevada)


**Nivel de
peligrosidad**


$D2 < 1 \text{ m}$ y $D4 < 1 \text{ m}$

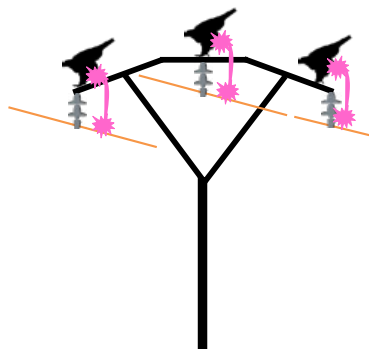
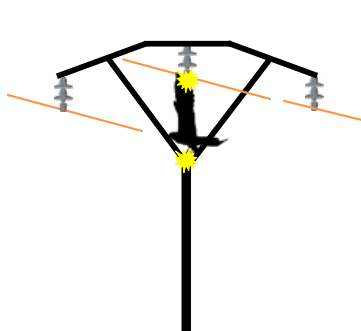


$D2 < 1 \text{ m}$ y $D4 > 1 \text{ m}$ o
 $D2 > 1 \text{ m}$ y $D4 < 1 \text{ m}$



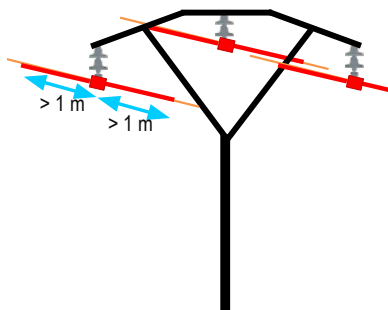
$D2 > 1 \text{ m}$ y $D4 > 1 \text{ m}$


Riesgo

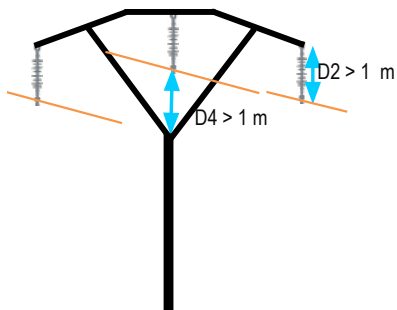


No estructurales: aislamiento de grapa y fases con retenedores


Medidas correctoras



Estructurales:
sustitución de aisladores





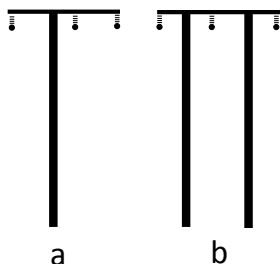
Descripción

Las tres fases están suspendidas en el mismo plano horizontal. La cruceta a veces descansa sobre más de un poste (2 o 3), en cuyo caso se denomina configuración en "H", marco en "H" o "en pórtico".

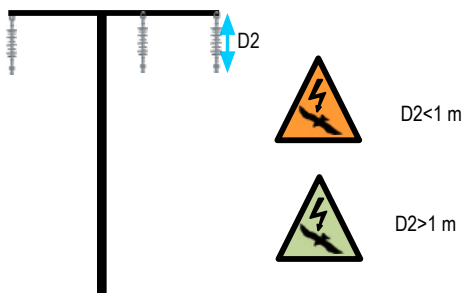


Variaciones

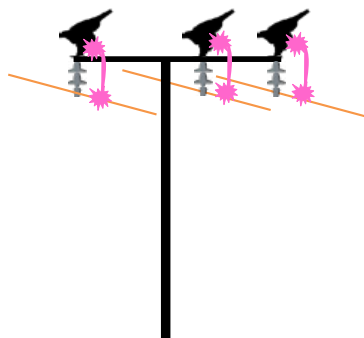
- a) simple (un poste);
- b) "H" o pórtico (más de uno)



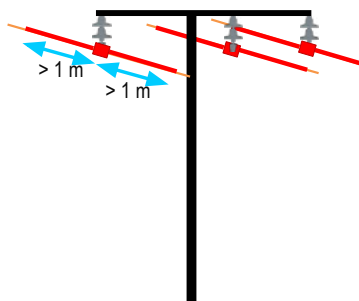
Nivel de peligrosidad




Riesgo

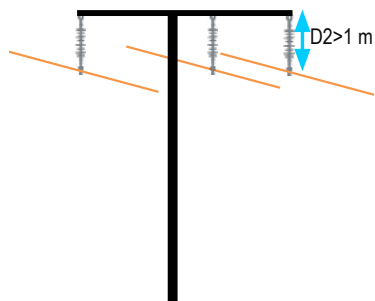


No estructurales: aislamiento de grapa y fases con retenedores




Medidas correctoras

Estructurales:
sustitución de aisladores





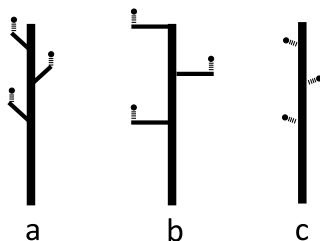
Descripción

Las fases discurren en dos planos verticales, alternándose en tres niveles horizontales.



Variaciones

- a) semicrucetas en ángulo;
- b) semicruceta horizontales;
- c) sin brazos (aisladores insertos directamente en el poste)

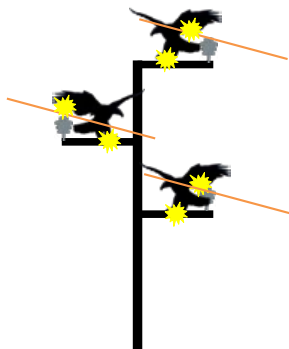


Nivel de peligrosidad

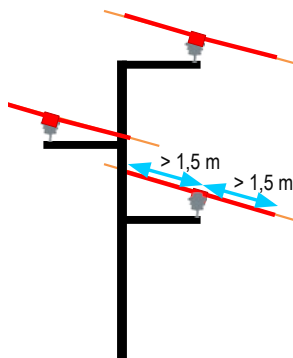
Muy peligroso en todas las situaciones



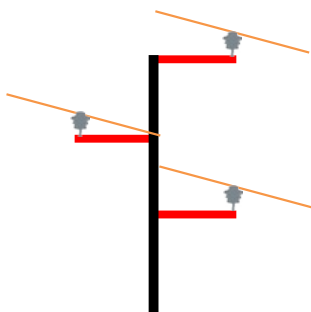

Riesgo



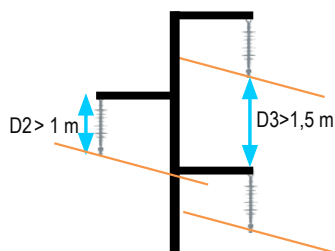
No estructurales: aislamiento de punto de sujeción y fases con retenedores




Medidas correctoras



Estructurales: sustitución de aisladores rígidos por suspendidos

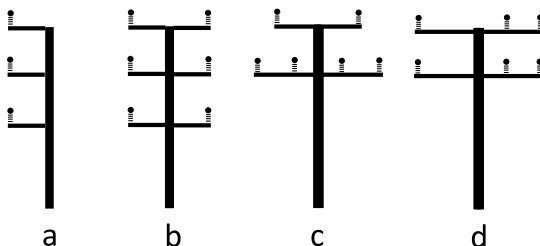



Descripción

Las fases de un circuito se mantienen en el mismo plano vertical en
res niveles horizontales, o en dos niveles con un circuito a cada lado.


Variaciones

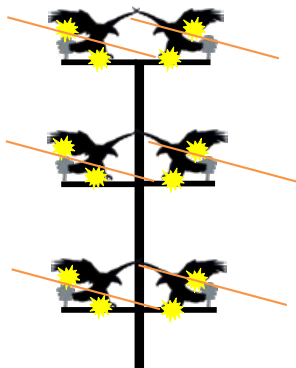
- a) circuito único (las tres fases de un lado; disposición “en bandera”);
- b) doble circuito en tres niveles;
- c) doble circuito en dos niveles, uno por cada lado;
- d) doble circuito en dos niveles, uno por nivel


**Nivel de
peligrosidad**

Muy peligroso en todas las situaciones

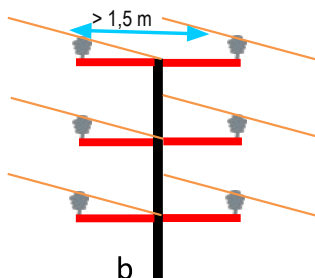
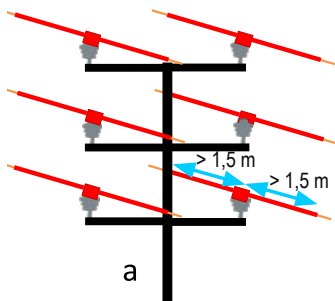



Riesgo

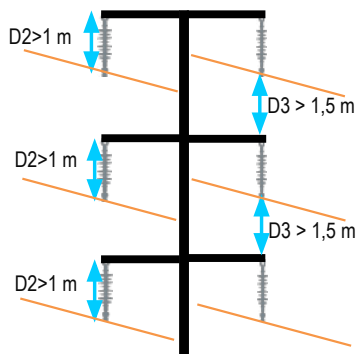


No estructurales: a) aislamiento de punto de sujeción y fases con retenedores; b) aislamiento de los travesaños (si hay más de 1,5 m de distancia entre fases)


Medidas correctoras



Estructurales: sustitución de aisladores rígidos por suspendidos





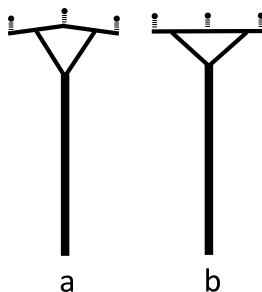
Descripción

Disposición de las fases sobre una estructura triangular, con la central más alta que las laterales o con todas las fases en un solo plano horizontal.



Variaciones

- a) simple (configuración de bóveda en dos planos);
- b) plana (configuración de bóveda en un solo plano)

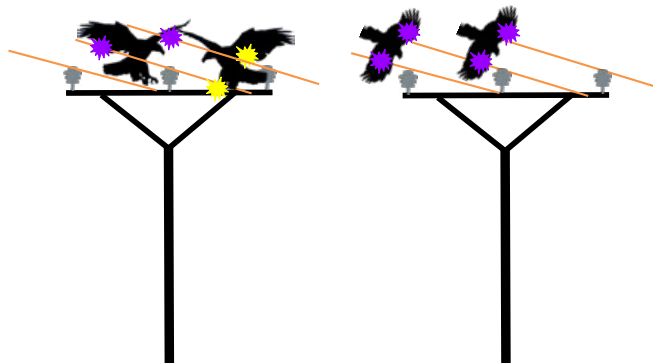


Nivel de peligrosidad

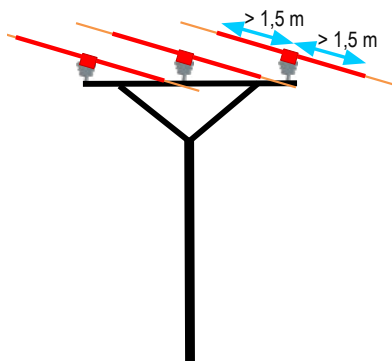
Muy peligroso en todas las situaciones




Riesgo

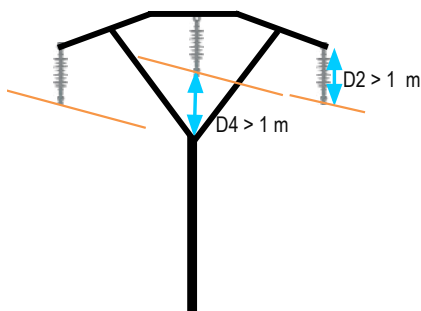


No estructurales: aislamiento de punto de sujeción y fases con retenedores




Medidas correctoras

Estructurales: sustitución de aisladores rígidos por suspendidos





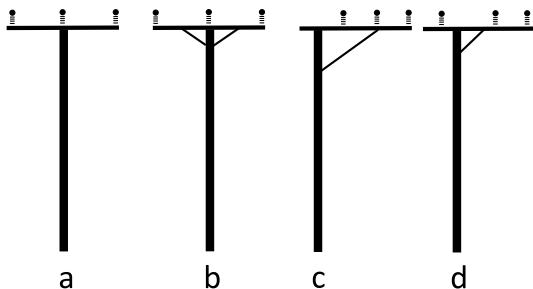
Descripción

Las tres fases se mantienen en un mismo plano horizontal, sobre una cruceta horizontal.



Variaciones

- a) simple;
- b) reforzado (con refuerzos laterales);
- c) brazos desiguales;
- d) un solo brazo

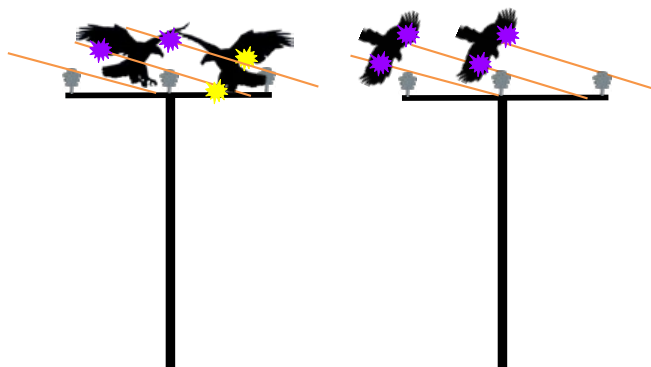


Nivel de peligrosidad

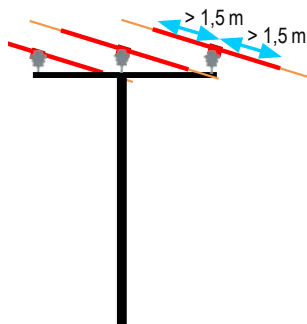
Muy peligroso en todas las situaciones




Riesgo

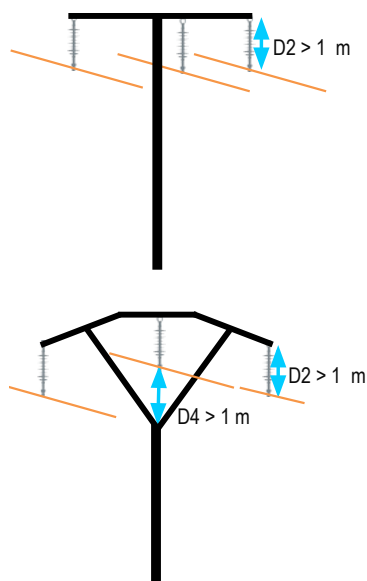


No estructurales: aislamiento de punto de sujeción y fases con retenedores




Medidas correctoras

Estructurales: sustitución de cruceta con aisladores suspendidos; puede ser necesario instalar una cruceta en bóveda para mantener el plano y las tensiones entre conductores.





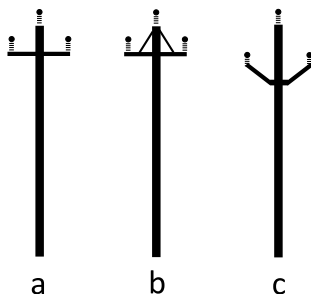
Descripción

Las fases se desarrollan en dos niveles, siendo la fase central más alta que las fases laterales; el conjunto tiene forma de cruz.



Variaciones

- a) simple;
- b) apuntalado;
- c) brazos laterales en ángulo

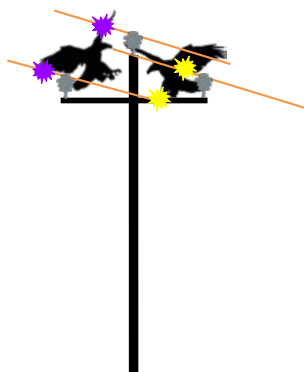


Muy peligroso en todas las situaciones



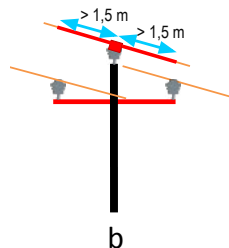
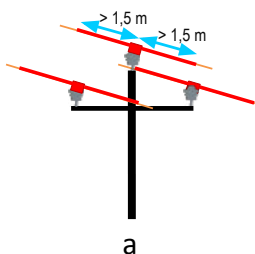
Nivel de peligrosidad


Riesgo

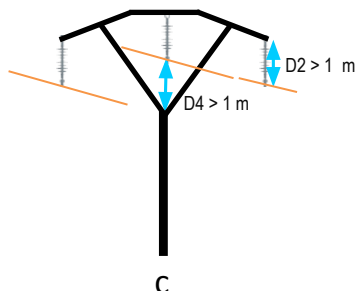
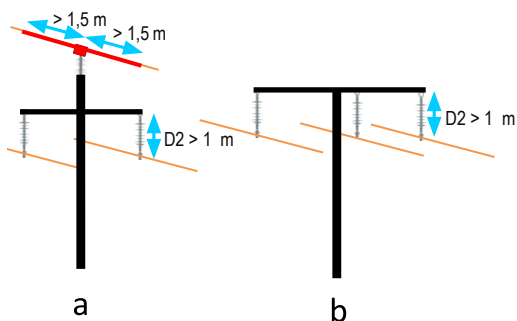


No estructurales:

- a) aislamiento de punto de sujeción y fases con retenedores;
- b) aislamiento de los travesaños laterales y del punto de sujeción y fase central con retenedores



- Estructurales:** a) sustitución de aisladores laterales y aislamiento de punto de sujeción con retenedores; b) cambio a cruceta horizontal con aisladores suspendidos; c) cambio a cruceta en bóveda si la opción anterior no permite mantener el plano y las tensiones entre conductores




Medidas correctoras



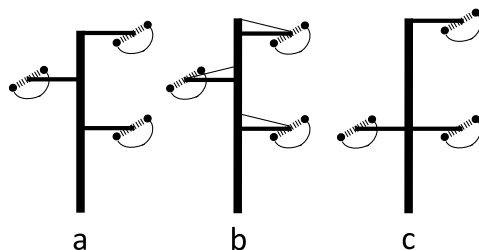
Descripción

Las fases se mantienen en dos planos verticales,
alternándose en tres niveles horizontales.

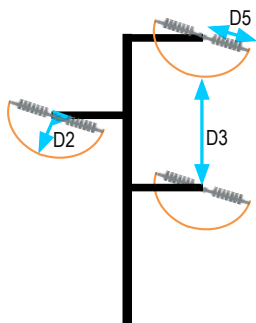


Variaciones

- a) plano;
- b) con refuerzos (atirantado);
- c) falsa alterna



Nivel de peligrosidad



$D2 < 1 \text{ m}$, $D3 < 1,5 \text{ m}$ y $D5 < 1 \text{ m}$ o
 $D2 < 1 \text{ m}$, $D3 < 1,5 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$ o
 $D2 > 1 \text{ m}$, $D3 < 1,5 \text{ m}$ y $D5 < 1 \text{ m}$ o
 $D2 < 1 \text{ m}$, $D3 > 1,5 \text{ m}$ y $D5 < 1 \text{ m}$ o
 $D2 < 1 \text{ m}$, $D3 < 1,5 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$
 (2 o 3 distancias menores de D segura)

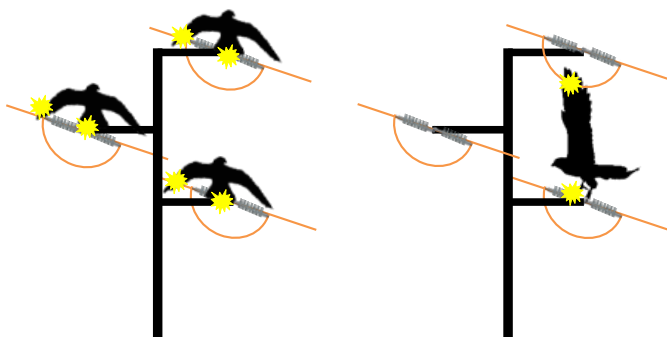


$D2 < 1 \text{ m}$, $D3 > 1,5 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$ o
 $D2 > 1 \text{ m}$, $D3 < 1,5 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$ o
 $D2 < 1 \text{ m}$, $D3 > 1,5 \text{ m}$ y $D5 < 1 \text{ m}$
 (1 distancia menor de D segura)

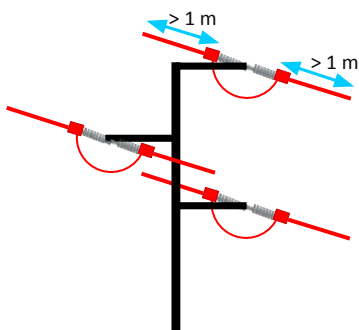


$D2 > 1 \text{ m}$, $D3 > 1,5 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$

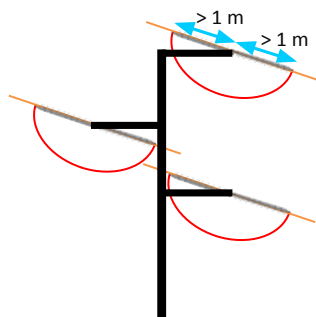

Riesgo



No estructurales: aislamiento de grapas de amarre, puentes y fases con retenidas



Estructurales: sustitución de aisladores y aislamiento de puentes con retenida; recomendable aislar también las grapas de amarre.




Medidas correctoras



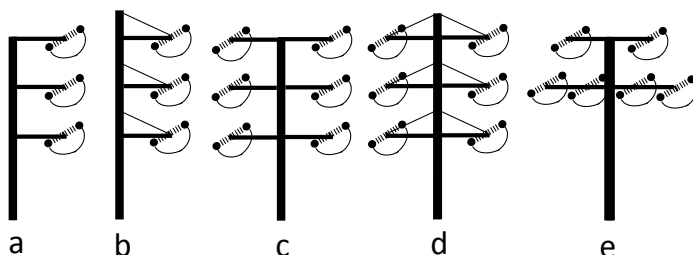
Descripción

Las fases se mantienen en el mismo plano vertical, en tres niveles horizontales.

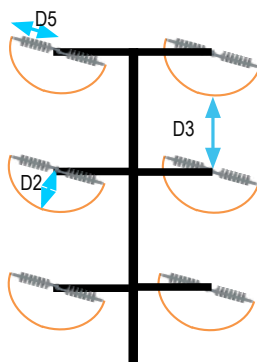


Variaciones

- a) circuito simple plano (las tres fases de un lado);
- b) circuito simple atirantado (con refuerzos);
- c) doble circuito plano, con fases de cada circuito en tres niveles;
- d) doble circuito atirantado en tres niveles;
- e) doble circuito en dos niveles



Nivel de peligrosidad



$D2 < 1 \text{ m}$, $D3 > 1,5 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$ o
 $D2 > 1 \text{ m}$, $D3 < 1,5 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$ o
 $D2 < 1 \text{ m}$, $D3 > 1,5 \text{ m}$ y $D5 < 1 \text{ m}$
 (2 distancias menores de D segura)

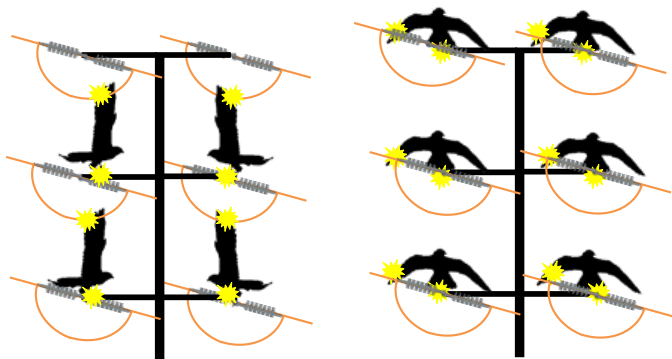


$D2 < 1 \text{ m}$, $D3 > 1,5 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$ o
 $D2 > 1 \text{ m}$, $D3 < 1,5 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$ o
 $D2 < 1 \text{ m}$, $D3 > 1,5 \text{ m}$ y $D5 < 1 \text{ m}$
 (1 distancia menor de D segura)

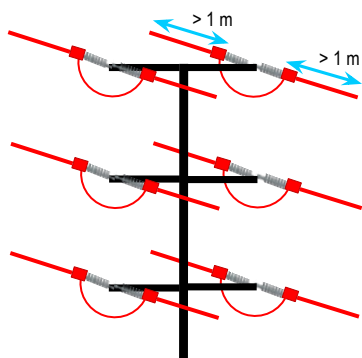


$D2 > 1 \text{ m}$, $D3 > 1,5 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$

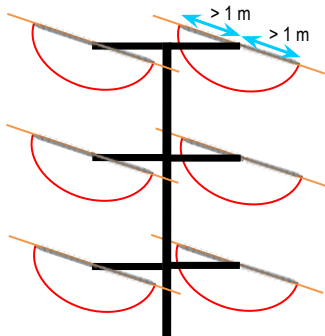

Riesgo



No estructurales: aislamiento de grapas de amarre, puentes y fases con retenidas



Estructurales: sustitución de aisladores y aislamiento de puentes con retenida; recomendable aislar también las grapas de amarre.




Medidas correctoras



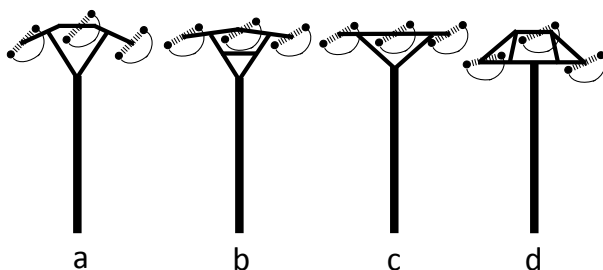
Descripción

Disposición de las fases sobre una estructura triangular o de triángulo truncado, con la fase central más alta que las fases laterales o con todas las fases en un solo plano horizontal.

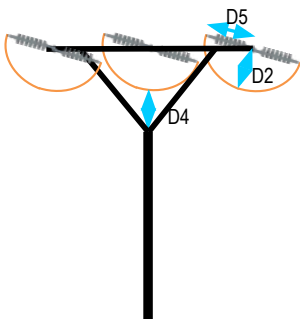


Variaciones

- a) simple (conductores en dos planos);
- b) con travesaño central (conductores en dos planos, bóveda con un travesaño central que une las diagonales;
- c) plana (conductores en un solo plano);
- d) bóveda de celosía (configuración en dos planos sobre una estructura de celosía metálica en forma de triángulo truncado)



Nivel de peligrosidad



$D2 < 1 \text{ m}$, $D4 > 1 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$ o
 $D2 > 1 \text{ m}$, $D4 < 1 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$ o
 $D2 < 1 \text{ m}$, $D4 > 1 \text{ m}$ y $D5 < 1 \text{ m}$
 (2 distancias menores de D segura)

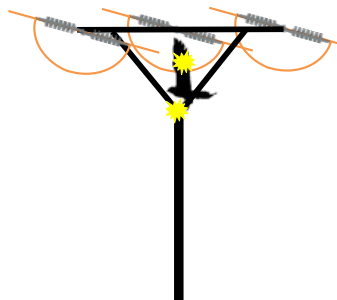
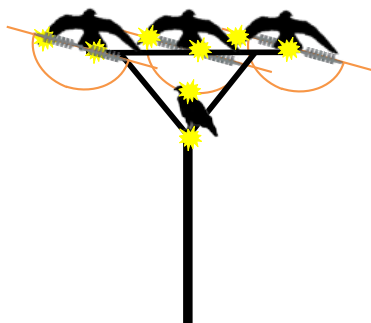


$D2 < 1 \text{ m}$, $D4 > 1 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$ o
 $D2 > 1 \text{ m}$, $D4 < 1 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$ o
 $D2 < 1 \text{ m}$, $D4 > 1 \text{ m}$ y $D5 < 1 \text{ m}$
 (1 distancia menor de D segura)

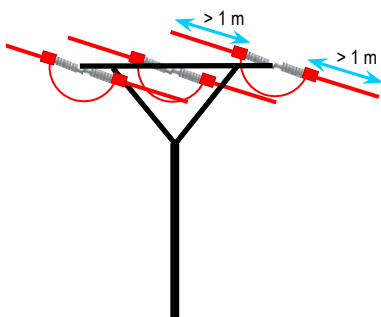


$D2 > 1 \text{ m}$, $D4 > 1 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$

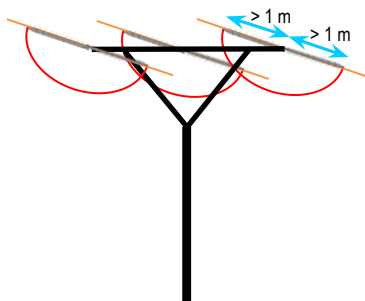

Riesgo



No estructurales: aislamiento de grapas de amarre, puentes y fases con retenidas



Estructurales: sustitución de aisladores y aislamiento de puentes con retenida; recomendable aislar también las grapas de amarre.




Medidas correctoras



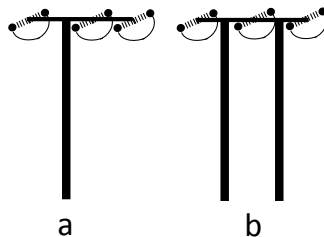
Descripción

Las tres fases se disponen en un mismo plano horizontal, sobre una cruceta horizontal. La cruceta a veces descansa sobre más de un poste (2 o 3), en cuyo caso se denomina configuración en "H", marco en "H" o pórtico.

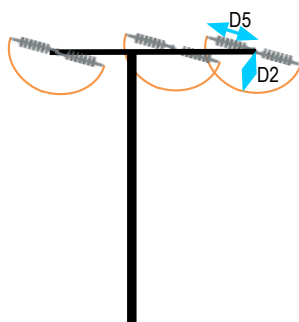


Variaciones

- a) simple (un poste);
- b) en "H" o pórtico (más de un poste)



Nivel de peligrosidad



$D2 < 1 \text{ m}$ y $D5 < 1 \text{ m}$

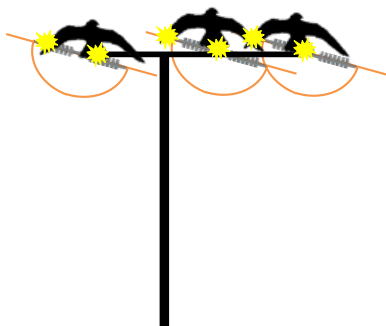


$D2 < 1 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$ o
 $D2 > 1 \text{ m}$ y $D5 < 1 \text{ m}$

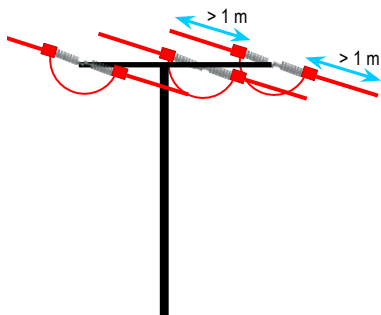


$D2 > 1 \text{ m}$ y $D5 > 1 \text{ m}$


Riesgo

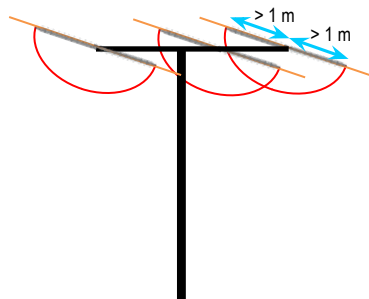


No estructurales: aislamiento de grapas de amarre, puentes y fases con retenidas




Medidas correctoras

Estructurales: sustitución de aisladores y aislamiento de puentes con retenida; recomendable aislar también las grapas de amarre.





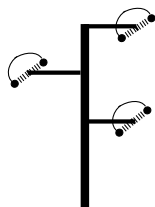
Descripción

Las fases se disponen en dos planos verticales,
alternándose en tres niveles horizontales.



Variaciones

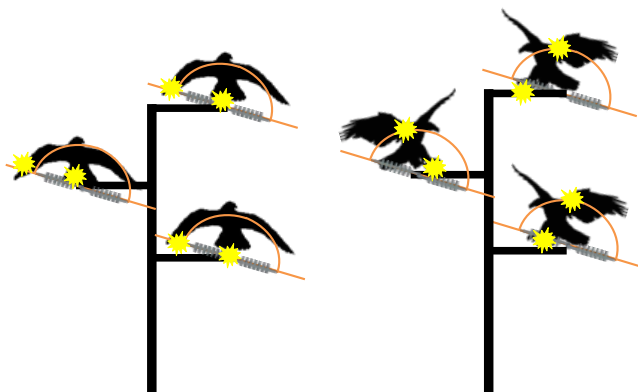
Simple

Nivel de
peligrosidad

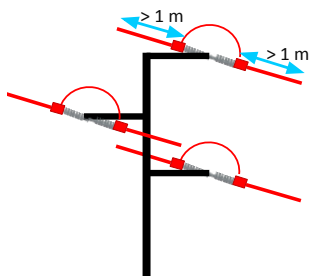
Muy peligroso en todas las situaciones




Riesgo

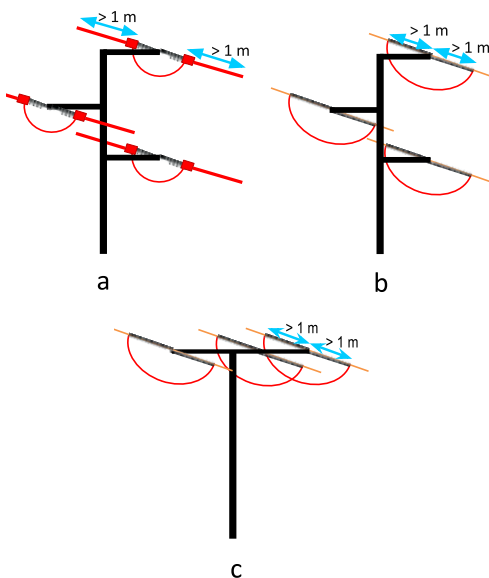


No estructurales: sólo si no son posibles medidas estructurales, aislamiento de grapas de amarre, puentes y fases con retenidas.




Medidas correctoras

Estructurales: a) bajada de puentes y aislamiento de grapas de amarre y fases con retenidas; b) sustitución de aisladores y aislamiento de puentes con retenida; recomendable aislar también las grapas de amarre; c) cambio completo de cruceta.





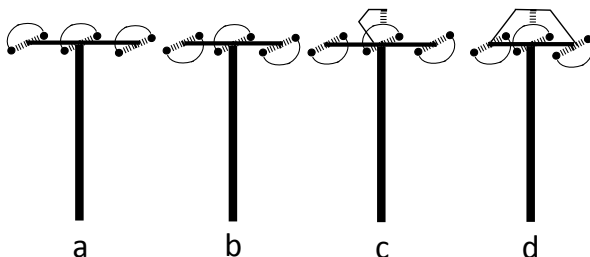
Descripción

Las tres fases se disponen en un mismo plano horizontal sobre la cruzeta, con al menos el puente central por encima de los aisladores.



Variaciones

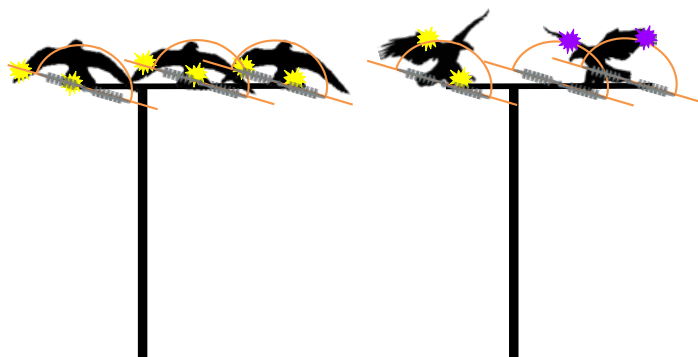
- a) los tres puentes por encima;
- b) puente central por arriba y laterales por abajo;
- c) puente central suspendido de un brazo lateral;
- d) puente central suspendido de un arco

Nivel de
peligrosidad

Muy peligroso en todas las situaciones



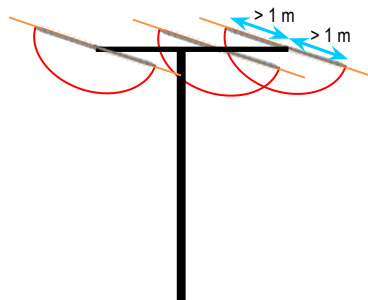

Riesgo




Medidas
correctoras

No estructurales: sólo si no son posibles medidas estructurales, aislamiento de grapas de amarre, puentes y fases con retenidas (ver medidas de D1).

Estructurales: cambio completo de cruceta





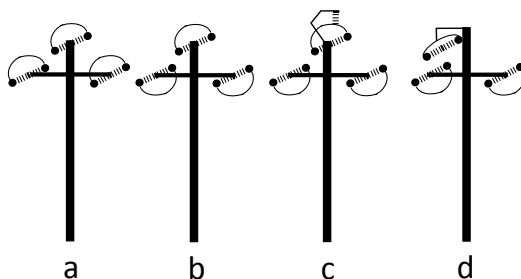
Descripción

Las fases se disponen en dos planos horizontales, con la fase central más alta que las fases laterales, con al menos el puente central por encima de los aisladores; el conjunto tiene forma de cruz.



Variaciones

- a) los tres puentes por encima;
- b) puente central por encima y laterales por abajo;
- c) puente central suspendido verticalmente;
- d) puente central suspendido lateralmente



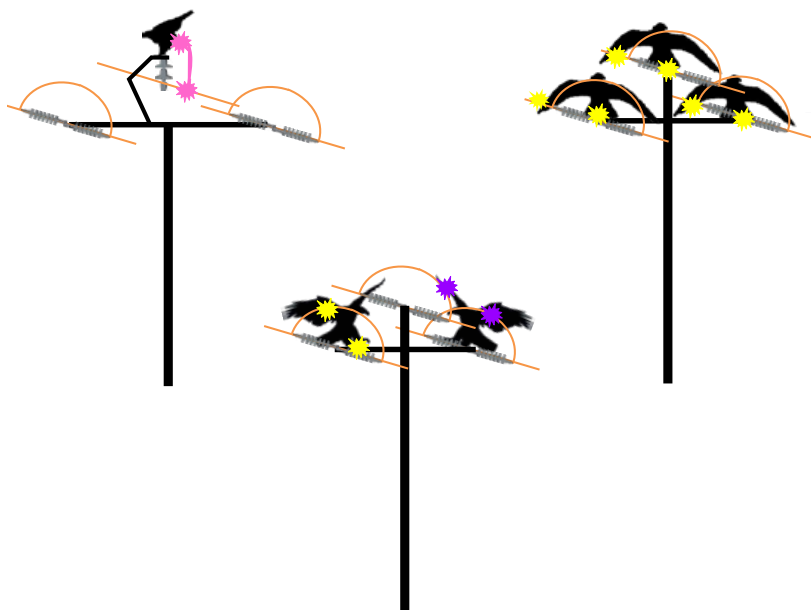
Nivel de peligrosidad

Muy peligroso en todas las situaciones





Riesgo



Medidas
correctoras

No estructurales: sólo si no son posibles medidas estructurales, aislamiento de grapas de amarre, puentes y fases con retenidas, ajustándolas a cada diseño (ver medidas de D1).

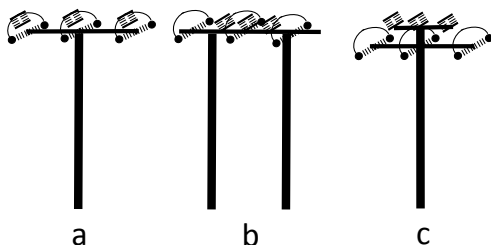
Estructurales: si no hay cambios en la estructura de la cruceta, bajada de los puentes laterales (a) y, en el caso del puente central superior (b y c), bajarlo a una posición lateral, siempre sustituyendo aisladores y aislando los puentes, como en casos anteriores; si es posible modificar la estructura de la cruceta, sustituirla por un diseño seguro (ver soluciones estructurales C3 o C4).

**Descripción**

Postes especiales de corte o maniobra con cruceta en diferentes configuraciones, generalmente horizontal; presentan seccionadores o cuernos de arco por encima de la cruceta, sin ningún otro elemento (diferencia con F y G).

**Variaciones**

- a) horizontal simple;
- b) en "H" o en pórtico;
- c) sobre una semicruceta o estructura en la parte superior del poste, por encima de los conductores

**Nivel de peligrosidad**

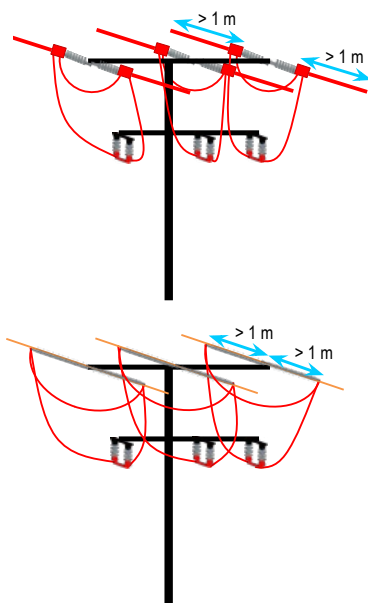
Muy peligroso en todas las situaciones





No estructurales: sólo si no son posibles medidas estructurales y hay que mantener la estructura existente, se deben proteger todos los puentes y conexiones; en este caso puede ser que la única forma de aislamiento para algunos puntos o elementos sea el uso de cintas, lo que supone una baja durabilidad y mucha menor seguridad.

Estructurales: la medida más aconsejable es un cambio estructural a un soporte de anclaje horizontal con aisladores de longitud segura y seccionadores o fusibles montados en un brazo auxiliar inferior, protegido con piezas aislantes preformadas y cables cubiertos para puentes y conexiones.





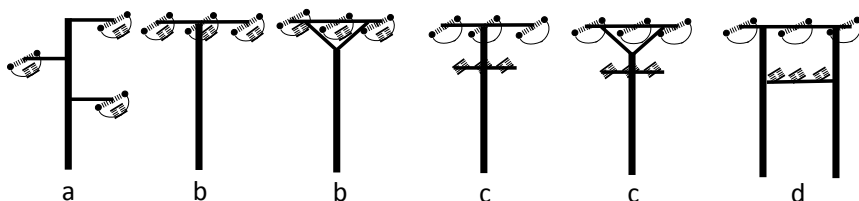
Descripción

Postes especiales de corte o maniobra en diferentes configuraciones, generalmente alterna, horizontal o en bóveda; llevan seccionadores o fusibles suspendidos de la cruceta o de una semicruceta, sin ningún otro elemento.



Variaciones

- a) a diferentes niveles (alterna, etc.);
- b) al mismo nivel, distintos montajes (horizontal, bóveda, etc.);
- c) en una semicruceta auxiliar inferior (horizontal, bóveda, etc.);
- d) montaje en pórtico, con una cruceta auxiliar inferior



Nivel de peligrosidad

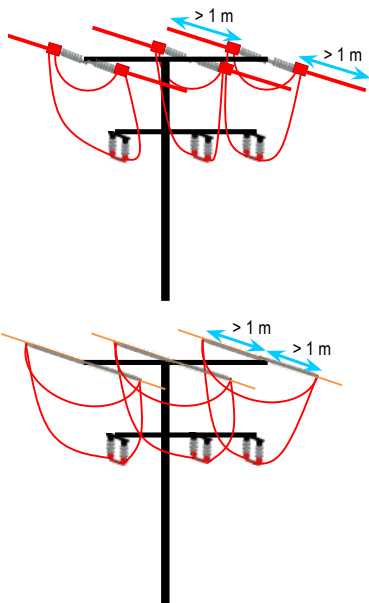
Muy peligroso en todas las situaciones





No estructurales: sólo si no son posibles medidas estructurales y hay que mantener la estructura existente, se deben proteger todos los seccionadores o fusibles, puentes y conexiones; en este caso puede ocurrir que la única forma de aislamiento para algunos puntos o elementos sea el uso de cintas, lo que supone una baja durabilidad y mucha menor seguridad.

Estructurales: la medida más aconsejable es un cambio estructural a un soporte de anclaje horizontal con aisladores de gran tamaño longitud segura y seccionadores o fusibles montados en un brazo auxiliar inferior, protegido con piezas aislantes preformadas para puentes y conexiones.





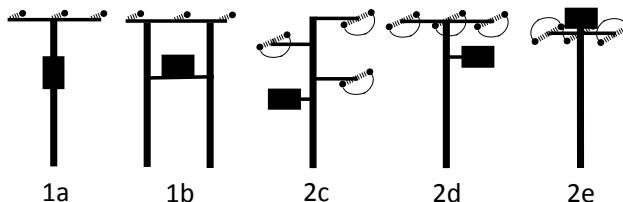
Descripción

Postes especiales en diferentes configuraciones, generalmente postes de amarre con montaje horizontal (también con configuraciones alterna o en pórtico), con diferentes tipos de elementos instalados. Puede tratarse de un transformador exterior (generalmente al final de una línea), un interruptor-seccionador, un interruptor-reconector, etc., complementados por dispositivos de protección y/o maniobra (autoválvulas, seccionadores, fusibles, etc.).



Variaciones

1: a) transformador externo en el poste, configuración horizontal; b) transformador en el travesaño central, configuración en pórtico.
2: c) dispositivo de maniobra/control sobre un brazo suplementario, en disposición alterna; d) dispositivo de maniobra/control en un brazo inferior, en configuración horizontal; e) dispositivo de control en la cruceta. Pueden existir otras configuraciones.



Muy peligroso en todas las situaciones

Nivel de
peligrosidad



Dependen de la configuración del soporte. En general:

- Eliminación de puentes por encima del travesaño principal.
- Aislamiento de los puntos peligrosos y puentes y conectores entre elementos, utilizando preferentemente piezas aislantes preformadas para dispositivos y cables recubiertos para puentes y conectores.
- Aislamiento a una distancia de seguridad de al menos 1 m alrededor de los lugares donde puedan posarse las aves (recomendable 1,5 m).



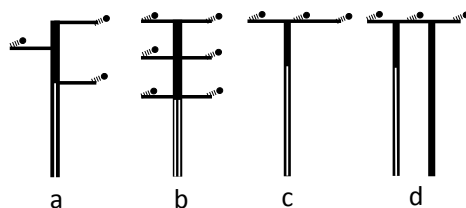
Descripción

Postes especiales en diferentes configuraciones, generalmente soportes de anclaje en configuración horizontal (también alterna o vertical), donde la línea aérea pasa a ser subterránea. Suelen disponer también de elementos de maniobra/corte y/o protección (seccionadores, fusibles cortacircuitos, pararrayos).



Variaciones

- a) disposición alterna;
- b) disposición vertical con doble circuito;
- c) disposición horizontal;
- d) en "H" o pórtico



Nivel de peligrosidad

Muy peligroso en todas las situaciones





Riesgo



Medidas
correctoras

Dependen de la configuración del soporte. En general:

- Eliminación de puentes por encima del travesaño principal.
- Aislamiento de los puntos peligrosos y puentes y conectores entre elementos, utilizando preferentemente piezas aislantes preformadas para dispositivos y cables cubiertos para puentes y conectores.
- Aislamiento a una distancia de seguridad de al menos 1 m alrededor de los lugares donde puedan posarse las aves (recomendable 1,5 m).



Descripción

Postes especiales en diferentes configuraciones, generalmente de amarre con puentes por debajo, de donde parte una derivación de la línea principal. Normalmente provistos de seccionadores o cortacircuitos fusibles entre la línea principal y la línea secundaria, instalados en un brazo inferior. En ocasiones, la línea secundaria se convierte directamente en subterránea en ese punto.



Variaciones

Un gran número de combinaciones y disposiciones posibles. Se pueden denominar combinando la "H" con los códigos de los diferentes tipos de postes. Así, por ejemplo, "H-A4a" sería una derivación que parte de un poste con aisladores en suspensión con montaje horizontal, o H-E2c si la derivación está provista de cortacircuitos fusibles.



Nivel de peligrosidad

Muy peligroso en todas las situaciones





Riesgo



Medidas
correctoras

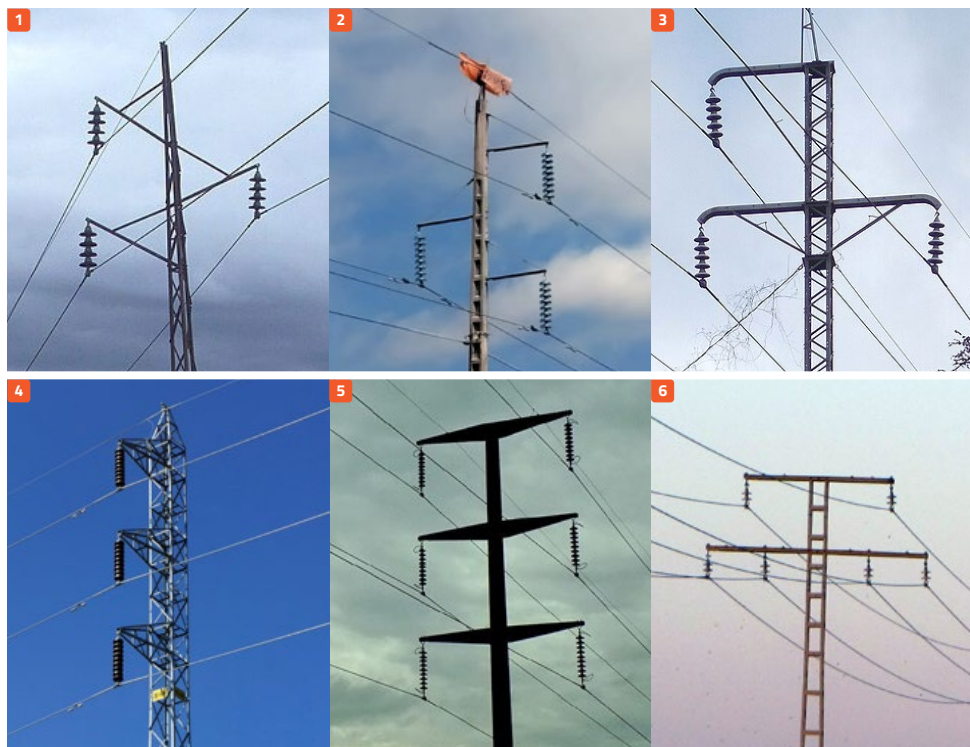
Dependen de la configuración del soporte. En general:

- Eliminación de puentes por encima del travesaño principal.
- Aislamiento de los puntos peligrosos y puentes y conectores entre elementos, utilizando preferentemente piezas aislantes preformadas para dispositivos y cables cubiertos para puentes y conectores.
- Aislamiento a una distancia de seguridad de al menos 1 m alrededor de los lugares donde puedan posarse las aves (recomendable 1,5 m).

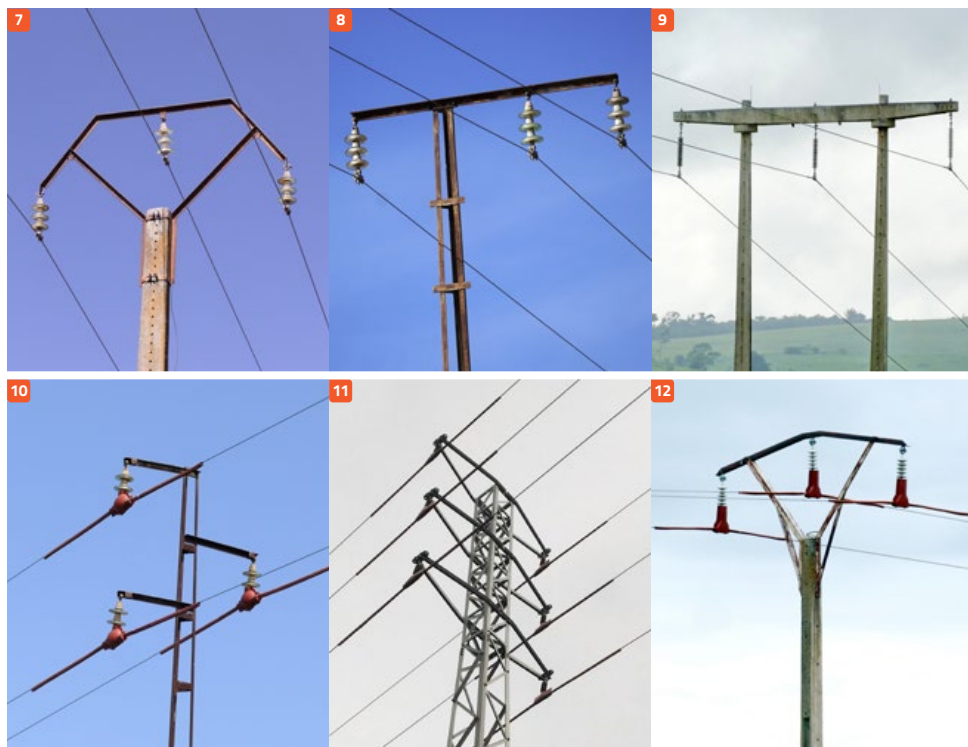
Sección III. Galería de fotos: ejemplos de tipos de poste y medidas antielectrocución

Nota: los códigos utilizados en los pies de foto corresponden a los códigos utilizados en la sección II de este apéndice A (ej. A1b corresponde a la ficha A1, SOPORTES CON CONFIGURACIÓN ESCALONADA O ALTERNA, variación b) alterna plana).

A. Postes de soporte o sujeción con aisladores colgantes



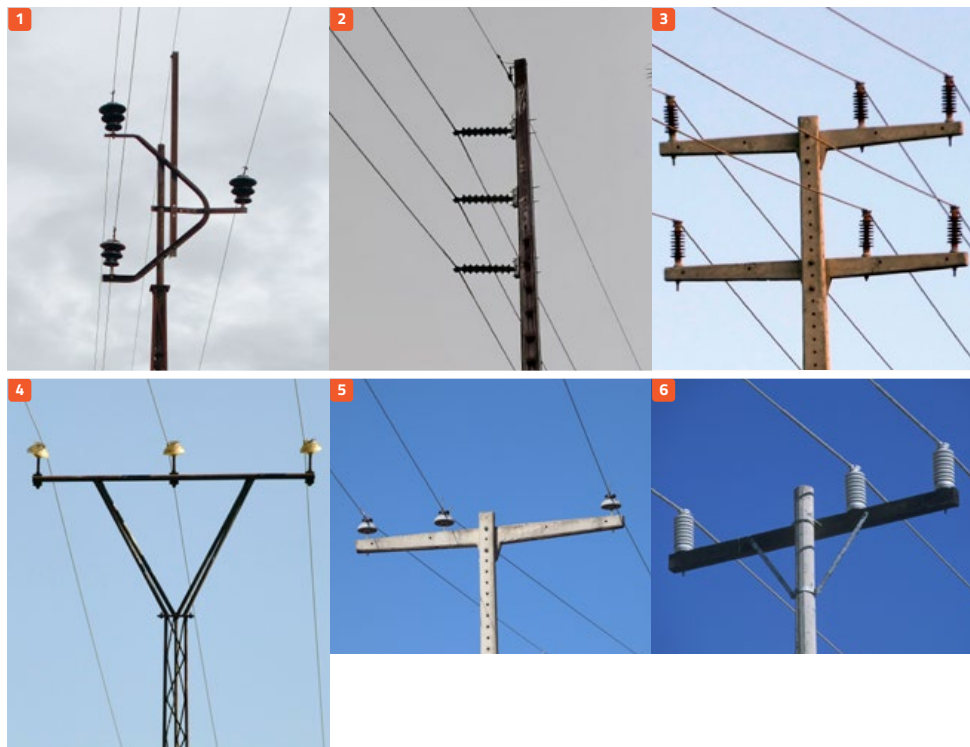
1: cruceta tipo canadiense (A1a); 2: cruceta alterna plana (A1b); 3: falsa alterna (A1d); 4: configuración vertical, circuito simple (A2a); 5: configuración vertical, doble circuito con fases en tres niveles (A2c); 6: configuración vertical, doble circuito con fases en dos niveles (A2e);



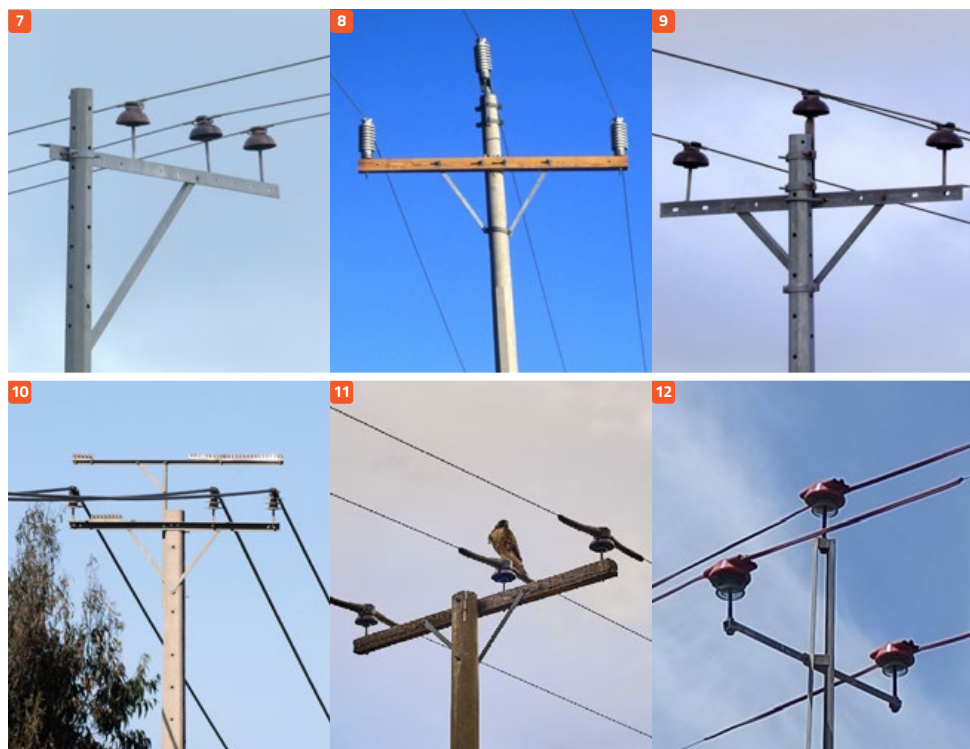
7: bóveda simple (A3a); 8: configuración horizontal simple (A4a); 9: configuración horizontal en "H" (A4b); 10, 11 y 12: ejemplos de medidas de corrección no estructurales, aislamiento de fases y grapas.

Créditos de las imágenes y localizaciones respectivas: 1 y 3: HighVoltage vía Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0 (Bolivia y Guatemala); 2: © Abel Gallo (Ecuador); 4 y 9: © Álvaro Camiña (Ecuador y Brasil); 5: Sergio Moisés, vía Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0 (Argentina); 6, 7, 8, 10, 11 y 12: © Justo Martín (España).

B. Postes de soporte o sujeción con aisladores rígidos (tipo pin)



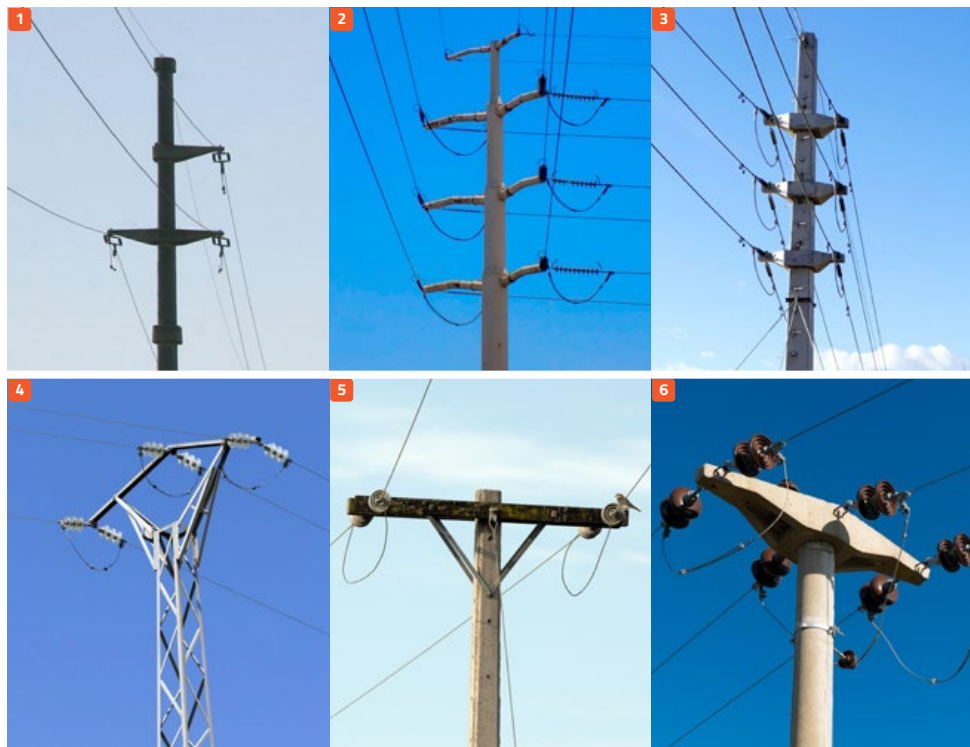
1: disposición alterna (B1b); 2: disposición vertical, circuito simple, con aisladores insertos directamente en el poste (B2a); 3: disposición vertical, doble circuito en dos niveles (B2d); 4: bóveda plana (B3b); 5: montaje horizontal simple (B4a); 6: montaje horizontal con refuerzos (B4b);



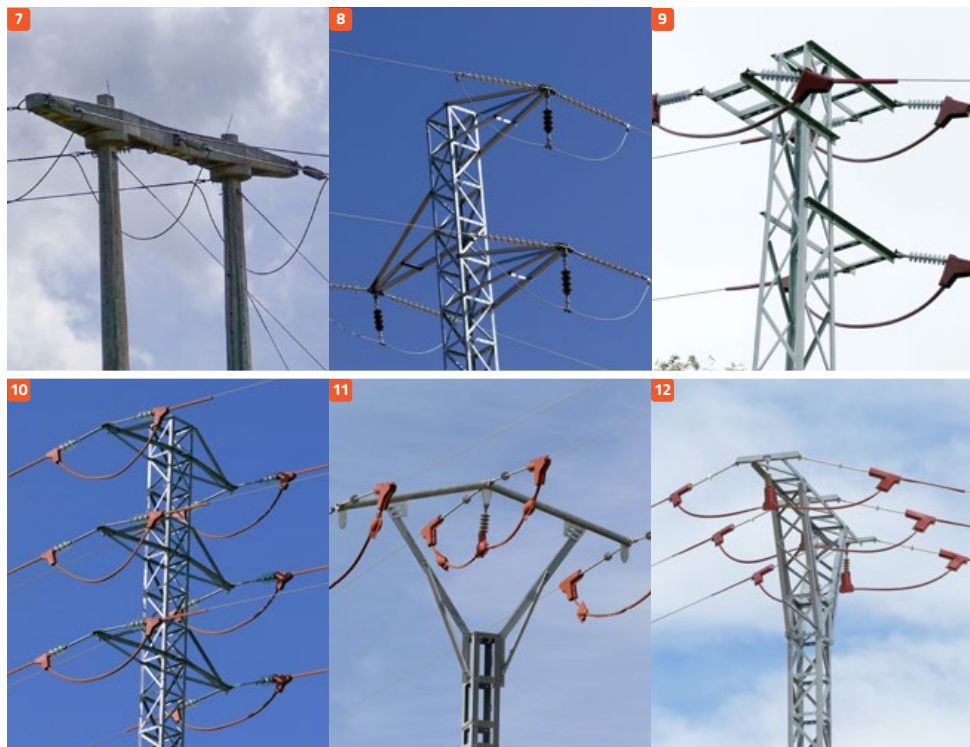
7: montaje horizontal en un solo brazo (B4c); 8: montaje horizontal con brazos desiguales (B4d); 9: montaje en cruz apuntalado; 10, 11 y 12: ejemplos de medidas de corrección: combinación de conductores aislados y dispositivo antiposada (10) y aislamiento de conductores y aisladores (11 y 12).

Créditos de las imágenes y localizaciones respectivas: 1: HighVoltage vía Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0 (Bolivia); 2: © Abel Gallo (Ecuador); 3: © Álvaro Camiña (Brasil); 4, 7, 9 y 12: © Justo Martín (España 4 y 12, Ecuador 7 y 9); 5: © Larissa Biasotto (Brasil); 6 y 8: © Patricia Manzano (México); 10: © Francisco Santander (Chile); 11: © José Hernández Sarasola (Argentina).

C. Postes de anclaje o amarre con los puentes por debajo de los aisladores



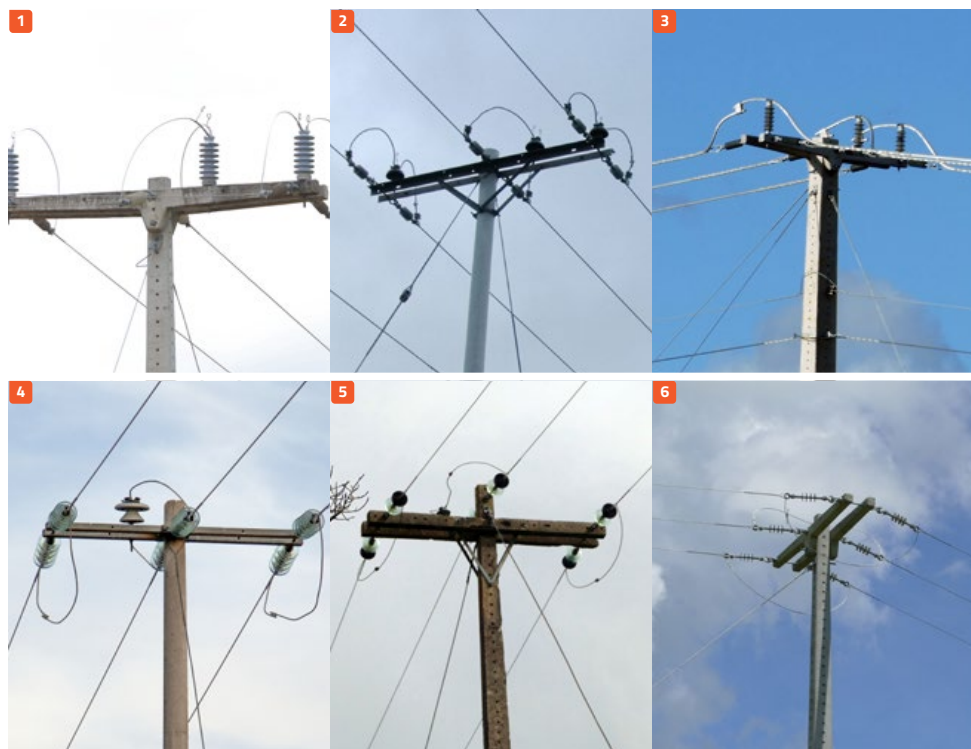
1: falso alterno (C1c); 2: doble circuito en tres niveles (C2c), con brazos; 3: doble circuito en tres niveles (C2c), sin brazos; 4: bóveda simple (C3a); 5: cruceta plana (C4a) de madera; 6: cruceta plana (C4a) de hormigón;



7: cruceta plana en "H" (C4b); 8 a 12: ejemplos de medidas de corrección: sustitución de aisladores (8), acompañados de aislamiento de conductores, grapas de amarre y puentes (10, 11 y 12), aislamiento sin sustituir los aisladores (9).

Créditos de las imágenes y localizaciones respectivas: 1: CGEER vía Wikimedia Commons, CC BY-4.0 (Argentina); 2: Sergio Moisés vía Wikimedia Commons, CC BY-4.0 (Argentina); 3 y 7: © Álvaro Camiña (Brasil y Panamá); 4, 8, 9, 10, 11 y 12: © Justo Martín (España).

D. Postes de anclaje o amarre con los puentes sobre los aisladores



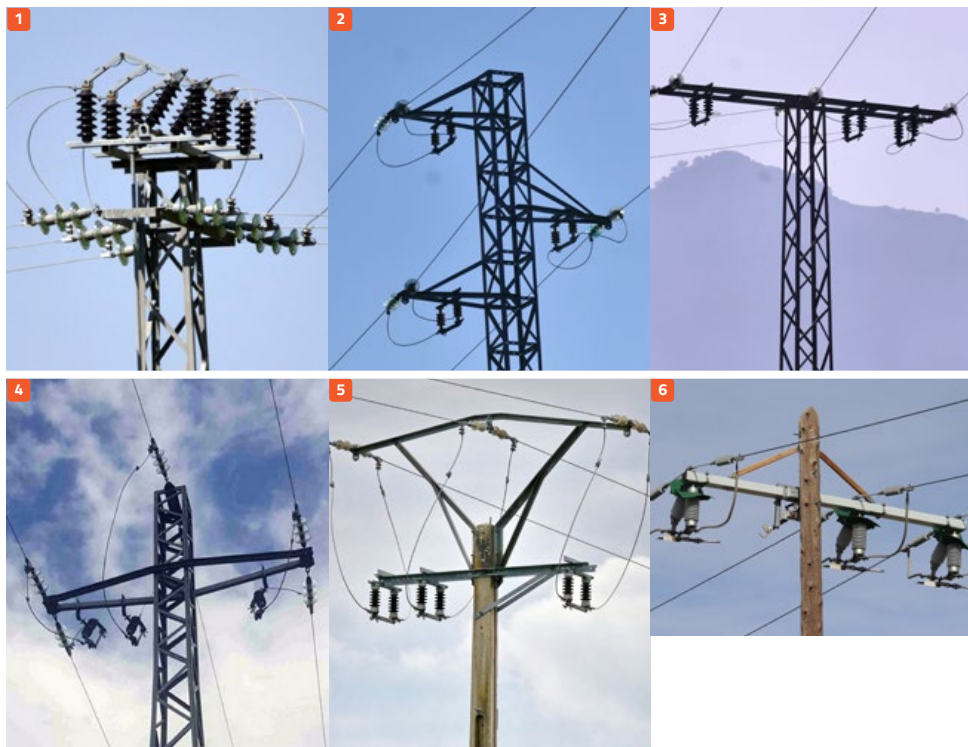
1, 2 y 3: cruceta plana, todos los puentes por arriba (D2a); 4-6: cruceta plana, puente central por arriba, puentes laterales por debajo (D2b);



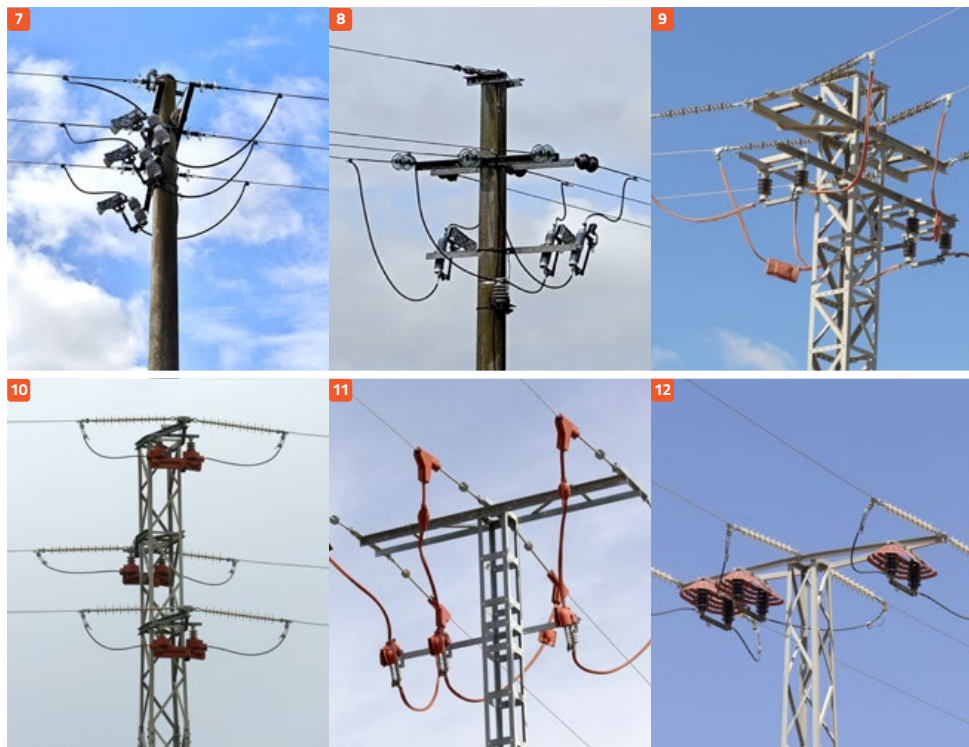
7-8: cruceta plana, puente central por arriba, puentes laterales por debajo (D2b); 9: disposición en cruz, puente central por arriba, laterales por debajo; 10-11: ejemplos de adecuaciones no estructurales: (10) aislamiento de puentes y punto de unión a aisladores, (11) aislamiento de conductores, grapas y puentes; 12: ejemplo de adecuación estructural, bajada del puente central a una disposición lateral y aislamiento de conductores, grapas y puentes.

Créditos de las imágenes y localizaciones respectivas: 1: Larissa Biasotto (Brasil); 2, 11 y 12: © Justo Martín (Ecuador, 2, y España, 11 y 12); 3, 5 y 6: © Álvaro Camiña (Brasil); 4: Patricia Manzano (México); 7: © Maximiliano Churriarín (Argentina); 8: Nati Aguilera (Argentina); 9: HighVoltage 5576 vía Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0 (Bolivia); 10: © James Dwyer (Estados Unidos).

E. Postes de maniobra (sin otros elementos)



1: seccionadores en un soporte por encima de la cruceta principal, montaje horizontal (E1c); 2: seccionadores por debajo de la cruceta en disposición alterna (E2a); 3: seccionadores al mismo nivel colgantes de la cruceta en disposición horizontal (E2b); 4: fusibles-seccionadores al mismo nivel, colgantes de la cruceta, montaje en triángulo (E2b); 5: seccionadores en una cruceta auxiliar inferior, cruceta en bóveda (E2c); 6 a 12: ejemplos de medidas de corrección: 6: fusibles-seccionadores colgantes de la cruceta, con los puentes de cable aislado;



7 y 8: fusibles-seccionadores en una cruceta auxiliar inferior, cruceta plana, con los puentes de cable aislado; 9: seccionadores en una cruceta auxiliar inferior, aisladores de 1 m y puentes de unión aislados; 10: seccionadores en una cruceta auxiliar inferior, aisladores de 1 m y puentes de unión y conexiones con seccionadores aisladas; 11: fusibles-seccionadores en una cruceta auxiliar inferior, aisladores de 1 m y puentes de unión y conexiones aisladas; 12: seccionadores en una cruceta auxiliar inferior, aisladores de 1 m, puentes de unión aislados y seccionadores con pantalla protectora.

Créditos de las imágenes y localizaciones respectivas: 1, 2, 3, 5, 9-12: © Justo Martín (España); 4: © Beatriz Miranzo (Argentina); 6: © James Dwyer (Estados Unidos); 7 y 8: © Pablo G. Fernández (Uruguay).

F. Postes especiales con transformadores u otros dispositivos



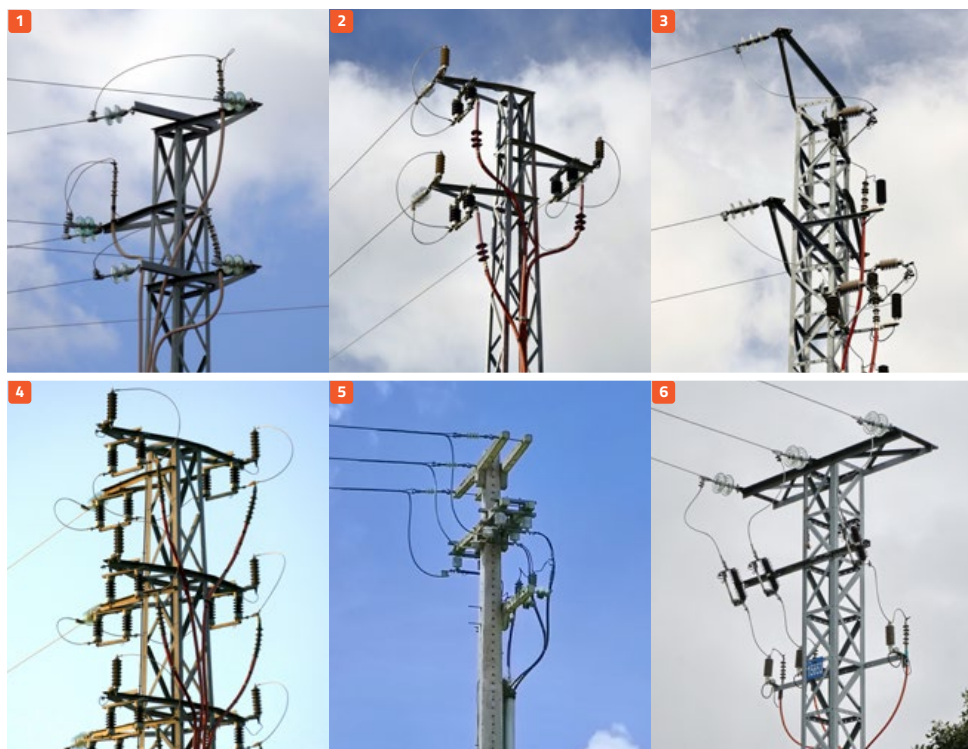
1: poste con transformador monofásico, provisto de fusible-seccionador y apartarrayos (F1a); 2: poste con transformador bifásico derivado de una línea principal, con fusibles-seccionadores en una cruceta auxiliar y los apartarrayos montados sobre el transformador (F1a); 3: poste con transformador trifásico derivado de una línea principal, con fusibles-seccionadores y apartarrayos en una cruceta auxiliar (F1a); 4: poste con transformador trifásico derivado de una línea principal, con fusibles-seccionadores y apartarrayos en respectivas crucetas auxiliares y apartarrayos montados sobre el transformador (F1a); 5: poste con transformador trifásico derivado de una línea principal, con fusibles-seccionadores y apartarrayos en la cruceta principal (F1a); 6: poste de fin de línea con disposición en "H" con transformador trifásico montado en una base inferior con fusibles-seccionadores y apartarrayos sobre la cruceta principal y apartarrayos en crucetas auxiliares inferiores (F1b);



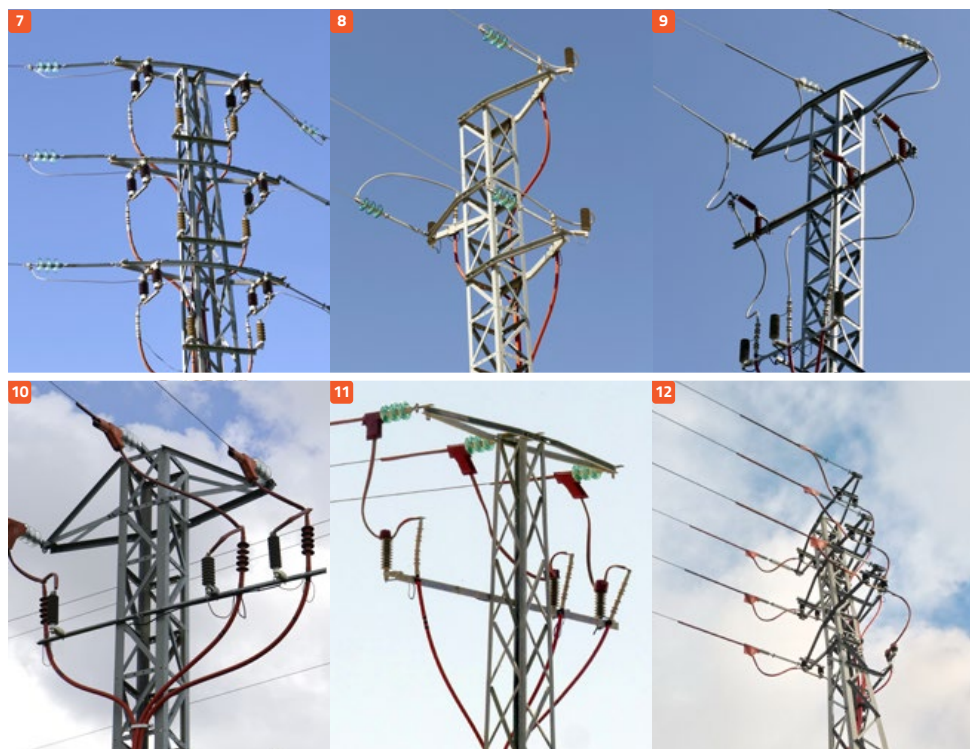
7 a 12: postes con correcciones: 7 y 10: postes con puentes y conexiones con cable aislado, pero conexiones y bordes al descubierto (los puntos más peligrosos); 8 y 9: postes con conectores de cable aislado y todos los bornes y conexiones protegidos; el 8 presenta además el conductor central protegido (al ser de madera, elimina el riesgo de electrocución en la parte superior); 11 y 12: postes terminales con transformador, con aisladores de 1 m con diseño antiposada y fases, conectores, bornes y conexiones protegidos.

Créditos de las imágenes y localizaciones respectivas: 1: © Rubén Darío Duarte (Uruguay); 2: © Larissa Biasotto (Brasil); 3: © Nati Aguilera (Argentina); 4 y 5: © Pablo G. Fernández (Uruguay); 6: Chris Hunkeler vía Wikimedia Commons, CC BY-SA 2.0 (Chile); 7: Javiera Espinoza vía iNaturalist Chile, CC BY-NC (Chile); 8: © James Dwyer (Estados Unidos); 9: © Álvaro Camiña (Ecuador); 10: © Félix Romera (Chile); 11 y 12: © Justo Martín (España).

G. Postes de transición aéreo-subterránea



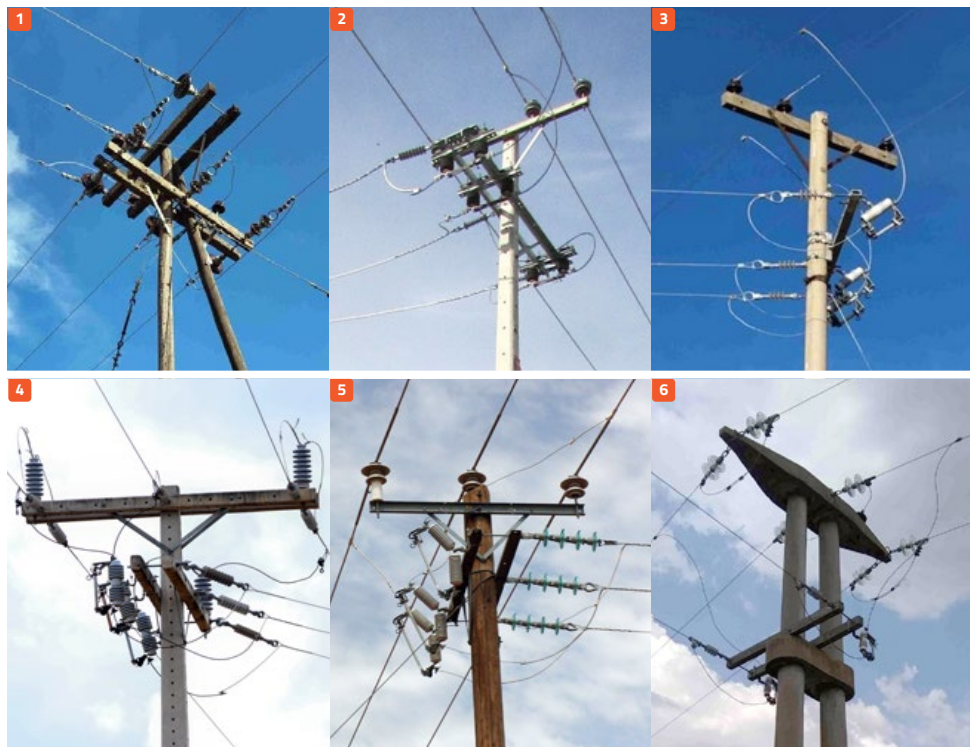
1: poste de transición en disposición alterna, sin elementos de protección o maniobra (Ga); 2 :poste de transición en disposición alterna con seccionador y apartarrayos en los brazos (Ga); 3: poste de transición en disposición alterna, con apartarrayos y fusibles-seccionadores en ramas de los brazos principales (Ga); 4: poste de transición en doble circuito vertical a tres niveles, con apartarrayos y fusibles-seccionadores en los brazos (Gb); 5: poste de transición con seccionadores y apartarrayos en respectivas crucetas auxiliares (Gc); 6: poste de transición con fusibles-seccionadores y apartarrayos en respectivas crucetas auxiliares (Gc);



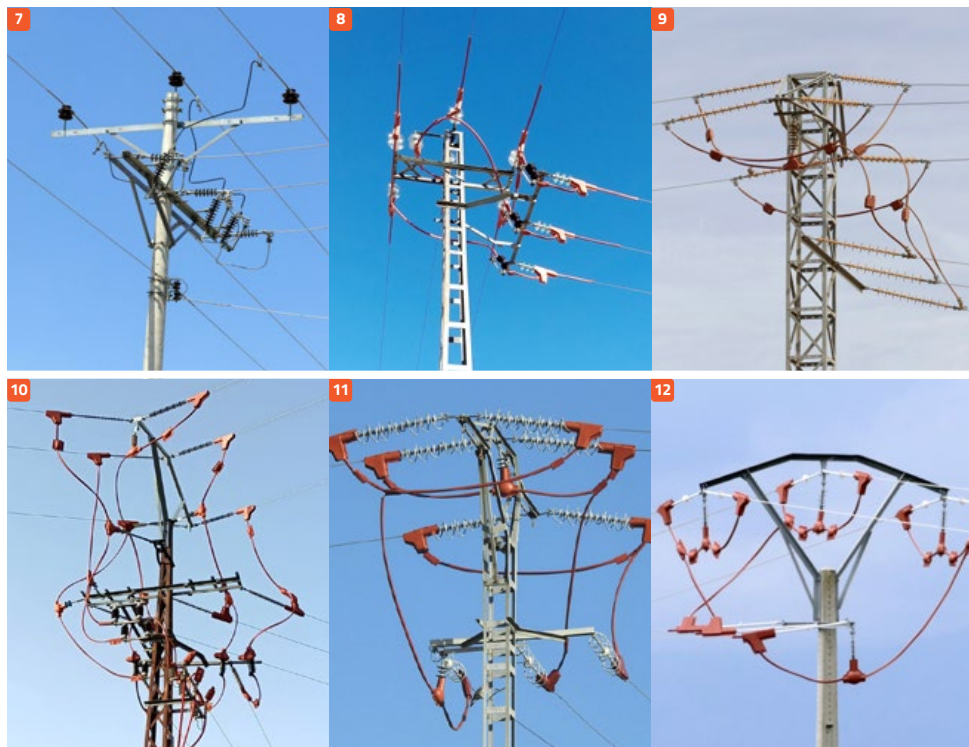
7 a 12: postes con correcciones: 7: cadenas de aisladores con alargaderas, puntos de conexión entre elementos sin proteger; 8: cadenas de aisladores con alargaderas y puentes con fundas, puntos de conexión entre elementos sin proteger; 9 y 10: conductores y puentes aislados, pero puntos de conexión sin proteger; 11: conductores y puentes con fundas, apartarrayos protegidos, pero no lo están las botellas terminales; 12: conductores y puentes con fundas y apartarrayos y botellas protegidas.

Créditos de las imágenes y localizaciones respectivas: 5: © Álvaro Camiña (Brasil); resto: © Justo Martín (España).

H. Postes de derivación o bifurcación



1: derivación sin elementos de maniobra y protección; 2: derivación con seccionadores; 3-6: derivaciones con fusibles-seccionadores;



7: derivación con fusibles-seccionadores; 8-12: postes con correcciones, con fundas para conductores, grapas y puentes (8), con aisladores de 1 m y puentes con fundas (9), con aisladores de 1 m, grapas y puentes con fundas (10, 11 y 12).

Créditos de las imágenes y localizaciones respectivas: 1 y 3: © Beatriz Miranzo (Argentina); 2: Juan Contardo vía iNaturalist Chile, CC BY-NC (Chile); 4: © Larissa Biasotto; 5: © Rick Harness (México); 6: © Maximiliano Churriarín (Argentina); 7-12: © Justo Martín (7, Ecuador, resto España).

Apéndice B. Recomendaciones generales para líneas de nueva construcción

Justo Martín Martín¹ y José Rafael Garrido López²

¹ *JMM Consultant (consultor independiente)*

² *Agencia de Medio Ambiente y Agua, Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente, Junta de Andalucía, España*

En este apéndice se ofrecen recomendaciones generales para que las nuevas líneas sean seguras para la fauna y sobre la instalación de las medidas antielectrocución y anticolisión.

Sección I. Recomendaciones para medidas antielectrocución

En función del tipo de soporte:

a) Postes de soporte

- La longitud de las cadenas de aisladores debe alcanzar las distancias de seguridad recomendadas; si esto no es posible, se deberían instalar al menos los aisladores más largos que permitan el diseño de la cruceta y los materiales del poste.
- Las configuraciones horizontales y tipo canadiense (configuración alterna con brazos diagonales) son las configuraciones más seguras si no se pueden alcanzar las distancias de seguridad.
- Deben evitarse los postes con aisladores rígidos; son muy peligrosos en la mayoría de los casos.

- Si sólo es posible instalar aisladores rígidos, la cruceta debe ser de algún material aislante (madera, polímero) que no requiera de bajada a tierra (al menos en todos los postes) y en forma de cruz, con la mayor distancia posible entre conductores (o neutro, si existe), 1,5 m o más; si hay cable de puesta a tierra, que al menos el primer metro por debajo de la cruceta esté cubierto. Distancias más pequeñas, incluso en configuraciones horizontales, pueden ser seguras si se aísla la conexión del aislador central al conductor que soporta y un tramo de éste a ambos lados, idealmente 1,5 m, siempre con retenedores.

b) Postes de amarre o retenida

- Todos los puentes deben disponerse por debajo de la cruceta o brazo que soporta el conductor, utilizando configuraciones que permitan esa disposición.
- La longitud de las cadenas de aisladores debe alcanzar las distancias de seguridad recomendadas o, al menos, instalar los aisladores más largos posibles según el diseño de la cruceta y los materiales del poste.
- En caso de no alcanzar la distancia de seguridad en la cadena de aisladores, los puentes y las grapas de amarre deben aislarse con elementos preformados.

c) Postes especiales

- Para evitar elementos en tensión por encima de la cruceta, se recomienda instalar un brazo inferior para ubicar los dispositivos adicionales, como autoválvulas y terminaciones (botellas terminales) en postes de acometida subterránea y seccionadores o fusibles en postes con transformadores; en este último caso los pararrayos deben colocarse sobre los propios transformadores.
- Todas las conexiones entre los distintos dispositivos (transformadores, seccionadores, fusibles, pararrayos, botellas terminales, etc.) deben estar aisladas:
 - Conexiones entre aisladores y seccionadores, fusibles y autoválvulas.
 - Conexiones a terminales de transformadores.
 - Puentes entre las diferentes grapas de amarre en crucetas con derivación.

- Para los conectores deberían utilizarse cables aislados; en caso de cables desnudos, cubrirlos con fundas aislantes preformadas de caucho, silicona u otro material similar; no se recomienda el uso de cintas aislantes porque tienen una vida útil muy corta.
- Dispositivos como seccionadores y cortacircuitos-fusibles deben estar también protegidos, bien con piezas preformadas específicas o con dispositivos que eviten el contacto.
- Es muy importante aislar los puntos de unión entre los conectores y los dispositivos, que son los puntos más peligrosos, preferentemente con preformados específicos; si no es posible, utilizar cinta aislante siliconada, aunque su uso no es recomendable de manera general por su baja durabilidad.

d) En general en todos los postes

- Evitar el uso de sistemas antiposada o antinidificación, especialmente si son de metal, rígidos y no móviles, que puedan ocasionar daños a las aves por ser punzantes o tener bordes cortantes.
- Evitar el uso de soportes sobre la cruceta como posaderos o plataformas de nidificación, especialmente si no van acompañados de otras medidas estructurales o instalación de protecciones aislantes.

Recomendaciones generales para la instalación de aislamientos protectores antielectrocución

- En general, para el aislamiento deberán utilizarse piezas preformadas, revestimientos y fundas o vainas a medida de cada elemento a aislar para evitar que se produzca contacto entre cualquier parte del animal y elementos o puntos energizados; deberán encajar entre sí, asegurándose de no dejar espacios ni partes en tensión descubiertas, aunque éstas sean de pequeña longitud o tamaño (incluso la simple cabeza de un tornillo).
- Se desaconseja el uso de cintas aislantes de forma general, tanto para sujetar entre sí diferentes piezas como para cubrir elementos o puntos en tensión (conexiones entre puentes y diferentes elementos como seccionadores, pararrayos, etc.). Solo en el caso de que no existan piezas preformadas para ese elemento o punto estará justificado su uso, siempre con materiales que garanticen la máxima sujeción y durabilidad.

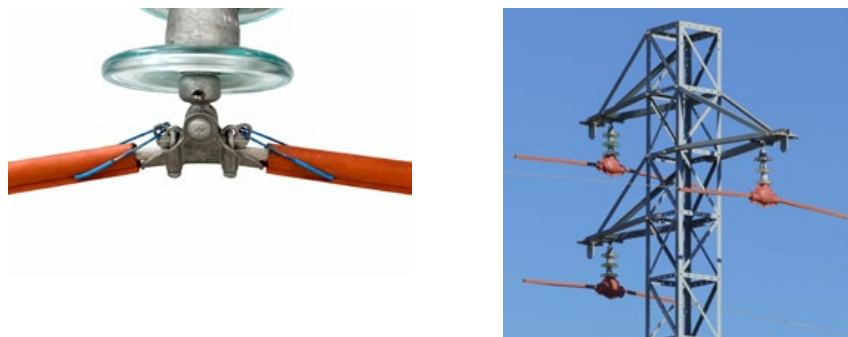


Figura B.1. En el caso de los elementos de aislamiento, es importante que queden bien fijados para evitar desplazamientos que dejarían puntos peligrosos al descubierto. En las vainas (fundas protectoras) para conductores es aconsejable el uso de ganchos que las unan a la estructura del poste (izquierda), cubriendo todo el conjunto con una funda (derecha). © Justo Martín

- Al instalar fundas protectoras en los conductores, se deben utilizar elementos retenedores para evitar que éstas se separen y deslicen por la curva del conductor, dejando al descubierto partes en tensión. Lo ideal es utilizar ganchos o alfileres como retenedores, que sujeten la funda a la grapa de amarre, quedando cubiertos por piezas cubre-grapas (Figura B.1). La colocación de retenedores en el extremo distal de la funda aislante (abrazadera de cuña, petacas, varillas preformadas, alambres, bridas metálicas, etc.) es una solución menos efectiva ya que con el paso del tiempo la vibración puede provocar que se vayan soltando, e incluso dañar el extremo de la cubierta y propiciar su apertura. El uso de cintas aislantes o bridas plásticas para esta función es la solución menos eficaz en términos de durabilidad.
- En soportes de amarre, cuando se precisen conexiones en los puentes, deben colocarse en su punto más bajo utilizando abrazaderas de presión de cuña; estos elementos también deben aislarse con un preformado que se ajuste a su forma y tamaño.
- Al utilizar piezas preformadas, seguir cuidadosamente las instrucciones de los fabricantes; mezclar elementos de diferentes procedencias da lugar a estructuras defectuosas que probablemente no sean seguras o, al menos, poco duraderas. Es recomendable comprobar que las piezas cubren eficazmente los elementos en tensión, y si alguna zona no está cubierta, asegurar su aislamiento aplicando una doble capa de cinta aislante.
- En el caso de soportes con aisladores suspendidos y riesgo de electrocución por defecación de aves, si no es posible instalar aisladores más largos, se deben aislar los conductores 1 m a cada lado desde la grapa de suspensión.

- En los soportes de derivación, prestar atención a la disposición de los cables con respecto a las zonas de posada, en particular la cruceta secundaria con respecto a los conductores de la cruceta principal. Incluso si se ha alcanzado la distancia de aislamiento mínimo requerida, podría haber zonas peligrosas para las aves. Lo aconsejable es considerar las distancias de seguridad desde esos puntos en horizontal y vertical y aislar lo que sea necesario, teniendo siempre en cuenta los puntos potenciales de posada y la existencia de al menos un metro de distancia de seguridad en cualquier dirección, preferiblemente 1,5 metros.

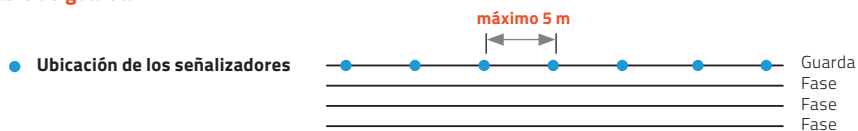
Sección II. Recomendaciones para medidas anticolidión

Líneas eléctricas prioritarias para la instalación de medidas anticolidión

Aunque se debe realizar un estudio específico del riesgo de colisión para cada línea eléctrica, con carácter general se debe priorizar la instalación de medidas anticolidión en los siguientes casos:

- Líneas eléctricas **ubicadas a menos de 1 km** de puntos de concentración de aves por disposición de alimentos, como humedales, vertederos de residuos sólidos urbanos, puntos de depósito de animales muertos y sus restos o cultivos.
- Líneas eléctricas **a menos de 1,5 km de las plataformas de nidificación** utilizadas por especies prioritarias (por ejemplo, buitres, águilas), en particular en regiones montañosas o boscosas o cerca de crestas rocosas.
- Líneas eléctricas **a menos de 1,5 km de los nidos de aves coloniales** como garzas, cigüeñas, grullas, ciertas aves rapaces, etc.
- Líneas eléctricas en **las que aniden especies amenazadas o gregarias** (algunas aves rapaces y cigüeñas, por ejemplo).
- Líneas eléctricas que recorran **ecosistemas abiertos (pastizal, pampa o sabana) donde se den densidades elevadas de aves propias de estos medios, ya sea durante la cría o invernada**, así como en áreas que estas especies utilicen como corredores de vuelo.

Con cable de guarda



Sin cable de guarda

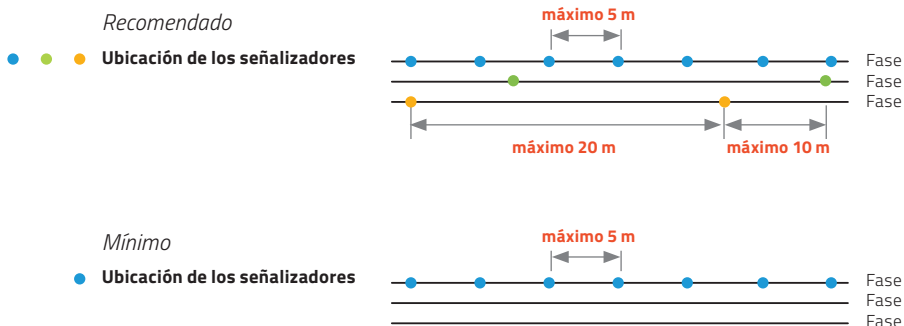


Figura B.2. Distancia recomendada entre marcadores anticollisión, teniendo en cuenta la presencia de cables de guarda.

© Endesa

- Líneas eléctricas **que atraviesen cursos de agua** que las aves acuáticas y migratorias utilicen como corredores.
- Líneas eléctricas que crucen rutas migratorias de aves, en **corredores o cuellos de botella migratorios**, o en otras situaciones en las que la topografía dé lugar a situaciones de riesgo.
- Líneas eléctricas en un radio de 1 km de lugares donde ya se han reportado colisiones de aves.

Estas líneas también deberían ser priorizadas en la búsqueda de puntos negros de mortalidad.

Recomendaciones para la instalación de marcadores visuales

- Si hay cables de guarda, los marcadores deben colocarse prioritariamente en ellos; si la línea eléctrica no tiene, sobre los conductores.
- Los cables, ya sean de guarda o conductores, deben estar señalizados de forma que generen un efecto visual equivalente a un marcador cada 10 m como máximo, entre 5 y 8 m si es posible. Así, si se instalan sobre dos cables, se instalarían de forma alternada a intervalos de 10 m, y de 15 m si se instalan sobre tres cables.



Figura B.3. Imagen comparativa de tamaño de señalizadores; la cinta métrica señala un metro. © Justo Martín

Apéndice C. Líneas eléctricas y fauna arborícola. Prevención y mitigación de impactos en entornos forestales y otros ambientes con fauna trepadora

**Luis Rolier Lara¹, Karina Rodríguez¹, Shirley Ramírez¹,
Luis Carballo², Dinnia Ramírez² y Angie Sánchez¹**

*¹ Grupo Técnico de Electrificación Sostenible,
Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Costa Rica*

² Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), Costa Rica

Las instalaciones eléctricas que se extienden por zonas boscosas presentan una problemática especial. Los bosques de todo el mundo, especialmente los de las zonas tropicales, albergan diversas especies de vertebrados de hábitos arborícolas, especialmente mamíferos (monos, ardillas, perezosos, etc.), así como algunos reptiles e incluso anfibios. **Estos animales consideran las líneas eléctricas y las subestaciones como elementos del ecosistema sobre los que pueden moverse, reproducirse, refugiarse o buscar alimento.** Por lo tanto, trepan a los postes o acceden a través de acometidas eléctricas, cables de telefonía o de televisión, e intentan desplazarse a lo largo de los conductores o acceden a las subestaciones, arriesgándose a electrocutarse. Los incidentes no solo les afectan a ellos, sino que pueden provocar importantes cortes de energía, habiéndose dado el caso de sucesos que afectaron a regiones o incluso a países enteros (ver, por ejemplo, BBC News, 2016 y MacRae, 2025). **La prevención de la electrocución de vida silvestre en hábitats boscosos comienza con la planificación y el diseño adecuados** de las líneas eléctricas. Las consideraciones críticas incluyen el análisis de la composición de especies, fenología de la cobertura arborecente (incluso herbácea), de las especies de fauna arborícolas y el comportamiento y rutas de paso de los animales que viven

alrededor del área del proyecto y en áreas protegidas cercanas, corredores ecológicos y hábitats ambientalmente frágiles. Si es necesario, los diseños de infraestructuras deben variarse del modelo de cableado aéreo a subterráneo, cable aislado o semi aislado, para tener en cuenta la fragilidad ambiental de estos hábitats.

La inclusión de la variable biodiversidad desde el diseño de las líneas, tomando en cuenta las rutas de movilización, de las especies y reduciendo la fragmentación, es la medida más eficaz para reducir la pérdida de biodiversidad por tendidos eléctricos.

Una vez construidos los tendidos eléctricos, el mantenimiento adecuado de la vegetación y la cubierta forestal circundante es una de las medidas de mitigación más eficaz para prevenir la electrocución de la fauna silvestre

(Rodríguez et al., 2023). A partir del conocimiento de las tasas de crecimiento de la vegetación, hay que diseñar programas de poda que permitan mantener exitosamente la cubierta vegetal en un nivel adecuado alrededor de las líneas eléctricas. Las medidas para prevenir estos incidentes incluyen también **impedir que los animales accedan a las instalaciones eléctricas**, evitar que trepen por los soportes e instalar puentes y otros medios que permitan a los animales evitarlos. A la vez, la **generación de nuevas conectividades funcionales** para la fauna silvestre puede ser una medida compensatoria del impacto ambiental de la construcción y operación de las líneas eléctricas, además de que brindará un aporte a la prevención de extinción local de especies de fauna silvestre.

Estas medidas deben **complementarse con medidas antielectrocución y anticolidación** diseñadas para las aves como las ya comentadas en capítulos anteriores de este manual. Las medidas de prevención y mitigación deben ser monitoreadas y analizadas cuidadosamente. Esta información es crítica para promover la conservación de la vida silvestre y reducir los costos de mantenimiento de la infraestructura de distribución eléctrica. La participación de las partes interesadas es crucial para la implementación exitosa de medidas de prevención y mitigación, particularmente cuando ocurren electrocuciones de fauna silvestre que no producen pérdida de energía, situación que impide a las empresas detectar cuándo y dónde se electrocuta la fauna. Con los medios de comunicación adecuados, las personas pueden reportar casos de electrocución de vida silvestre o áreas con alto riesgo de electrocución, debido al uso de las líneas por la fauna silvestre, puntos de ascenso o percha. Este apéndice presenta algunas recomendaciones generales para la instalación y diseño de subestaciones y estaciones transformadoras en estos ambientes, así como ejemplos de medidas preventivas para evitar los impactos de las líneas eléctricas sobre la fauna silvestre arborícola.

Sección I. Recomendaciones de medidas preventivas para la seguridad de subestaciones y estaciones transformadoras

- a) Las subestaciones deben contar con un espacio sin árboles de al menos 30 metros alrededor del cerco perimetral.
- b) La vegetación alrededor de la subestación debe mantenerse bajo control como parte del mantenimiento rutinario, de modo que no se permita el crecimiento de hierba alta, arbustos o árboles que puedan facilitar el acceso de la vida silvestre.
- c) Las estaciones transformadoras deberán protegerse con un cerco perimetral de malla electrosoldada o material similar, con una luz no mayor a 2,5 cm (una pulgada) y provista de una pared o lámina metálica de unos 100 cm de alto en su parte inferior. En la parte superior se debe colocar una lámina metálica de acabado liso inclinada hacia el exterior (a modo de visera) para evitar la entrada de animales con facilidad. Se puede colocar también una línea electrificada en la parte superior (Figura C.1).
- d) En el caso de construir un muro perimetral de cemento, deberá tener un acabado de yeso fino en el exterior hasta una altura de al menos 100 cm desde el suelo y con las columnas incluidas en el interior, para evitar que la vida silvestre entre a la subestación trepando por las paredes o columnas (Figuras C.2 y C.3).
- e) Las puertas de la subestación deben diseñarse de tal manera que la fauna no pueda acceder a la subestación. Los espacios entre las piezas de cierre deben ser inferiores a 2,5 cm (una pulgada). Una buena opción es instalar una puerta o portón corredizo.
- f) Se deben instalar dispositivos de barrera (preferiblemente giratorios) en los conductores aéreos que ingresan a la subestación.
- g) Si no se puede controlar completamente el acceso de la fauna, se deben instalar dispositivos aislantes y de barrera y antipercha en las partes más sensibles del sistema eléctrico. Es importante eliminar los primeros indicios de construcción de nidos, tarea que debe estar dentro del programa de mantenimiento preventivo.
- h) Evitar la colocación de contenedores o basureros con desechos que puedan atraer animales silvestres y, si se colocan, deben cubrirse adecuadamente para que la fauna no pueda acceder a ellos.



Figuras C.1, C.2 y C.3. Ejemplos de muros perimetrales y vallas ideales para estaciones de conmutación y subestaciones.
© CNFL

Sección II. Recomendaciones de medidas preventivas para la seguridad de soportes y cables

Los capítulos sobre electrocución y colisión han mostrado diversas medidas que pueden aplicarse en entornos boscosos. El objetivo de esta sección es completar esas medidas con otras específicamente dirigidas a la fauna arbórea no voladora.

La Tabla C-1 muestra las medidas preventivas más comúnmente utilizadas en ambientes boscosos, incluyendo las tratadas anteriormente y las que se detallan a continuación.

Tabla C-1. Medidas para prevenir accidentes de fauna por electrocución en líneas eléctricas en entornos boscosos.

TIPO	MEDIDA
Dispositivos anticolisión (ver capítulo 4 y apéndice B)	Espirales Tiras de neopreno Dispositivos reflectantes
Dispositivos tipo aislante (ver capítulo 5 y apéndice A)	Cobertores de goma siliconada Cobertores poliméricos rígidos Cobertor de goma siliconada tipo manguera para cable conductor Cobertor de polímero rígido para cable conductor Cinta aislante adhesiva
Cable aislado o semiaislado (ver capítulo 5)	Cable conductor recubierto con material aislante
Dispositivos disuasorios (ver capítulo 5 y apéndice A)	Diferentes diseños de materiales no metálicos
Dispositivos de protección tipo barrera (ver más abajo)	Dispositivos antiescalamiento Dispositivos de barrera giratoria Dispositivos protectores circulares tipo barrera para aisladores. Dispositivos protectores circulares electrostáticos Dispositivos antiposada
Medidas de acompañamiento (ver más abajo)	Puentes aéreos artificiales
Cableado subterráneo	Para entornos de muy alta fragilidad de las especies potenciales afectadas, parques nacionales o semejantes.

Fuente: elaboración propia

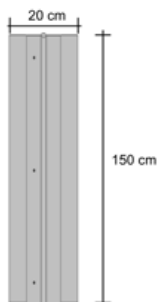
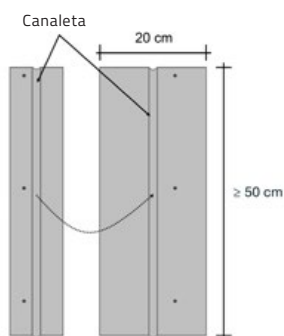


Figura C.4 (arriba). Ejemplos de dispositivos antiescalamiento.

Figura C.5 (abajo). Izquierda: diseño básico y tamaño mínimo; derecha: tamaño mínimo recomendado para ardillas y monos. © Luis R. Lara/CNFL

A. Dispositivos de protección tipo barrera

A1. DISPOSITIVOS ANTIESCALAMIENTO

Descripción

Láminas rectangulares de acero inoxidable (también llamadas dispositivos antiescalamiento tipo paleta) que se encajan en los tirantes (o cables de retenida) de los postes que sostienen las líneas aéreas y el alumbrado para evitar que los animales trepen por los tirantes (Figura C.4).

Las dimensiones mínimas son 20 cm x 50 cm, aunque para animales como ardillas o monos la longitud debe ser de al menos 1,5 m. El dispositivo se compone de dos piezas con un canal en el medio que envuelve el cable y permite que el dispositivo gire, sostenido por una argolla de metal que lo mantiene en su lugar. Las dos piezas se unen mediante remaches (Figura C.5).

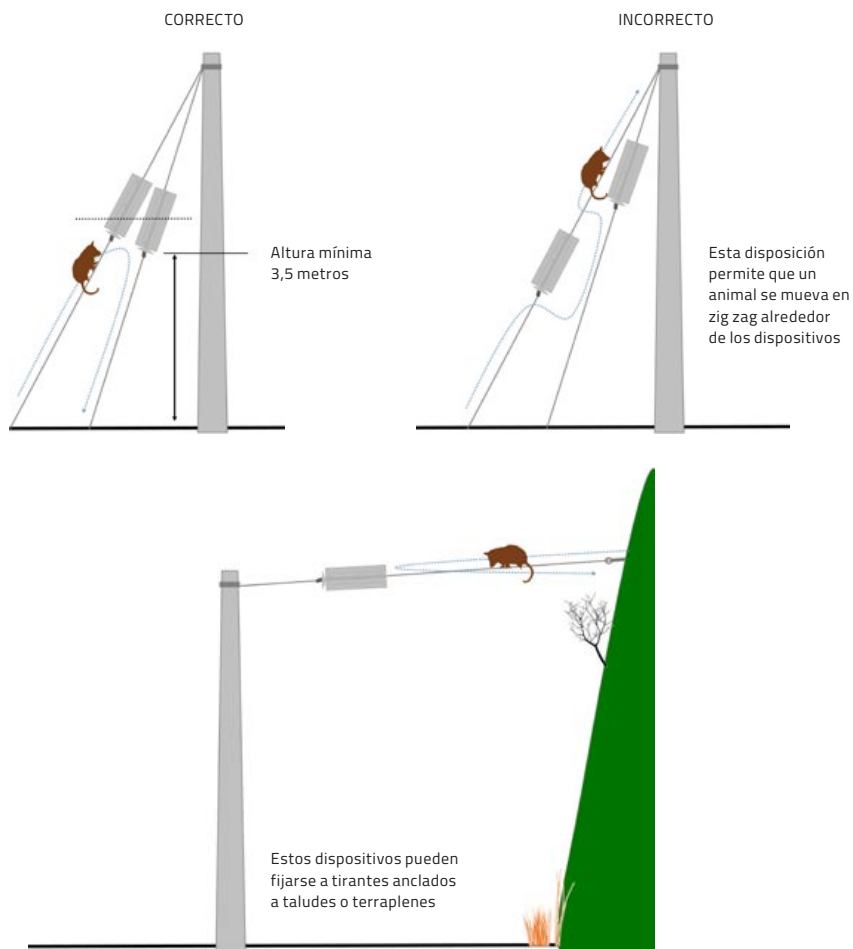


Figura C.6. Colocación de dispositivos antiescalamiento en postes con cables de retenida. © Luis R. Lara/CNFL

Colocación

El dispositivo debe colocarse a una altura superior a tres metros; si hay varios cables cercanos, todos los dispositivos deben ponerse a la misma altura para evitar que el animal zigzaguee entre ellos (Figura C.6).

A2. DISPOSITIVOS GIRATORIOS

Descripción

Estos dispositivos giratorios se instalan en cables conductores, tirantes o conexiones eléctricas. Evitan que la fauna alcance las líneas eléctricas, ya que su diseño giratorio y sus púas (en algunos modelos) impiden que los animales se agarren a ellos con firmeza.

También se pueden utilizar para evitar que la fauna entre en las subestaciones, ya que se pueden colocar en los cables de salida o entrada de energía que alimentan la subestación o en los cables del sistema de iluminación.

Deben estar fabricados con un polímero que permita su instalación con las líneas energizadas, si es necesario, y deben tener una longitud superior a 1,5 m para evitar que algunos animales puedan saltarlos (Figura C.7).

Colocación

Se colocan en líneas eléctricas, tirantes, acometidas eléctricas, cables de iluminación eléctrica, cables de comunicación, etc., tanto para evitar que la fauna avance por la línea eléctrica como para impedir su acceso a subestaciones u otros lugares.

Deben instalarse en línea a una distancia mínima de 1 m del poste para evitar que el animal entre en contacto con la red eléctrica (Figura C.8).



Figura C.7. Barrera giratoria con espinas.
© Raychem WLG



Figura C.8. Colocación de barrera giratoria sin espinas.
© Luis Diego Carballo (Electrificadora ESPH)

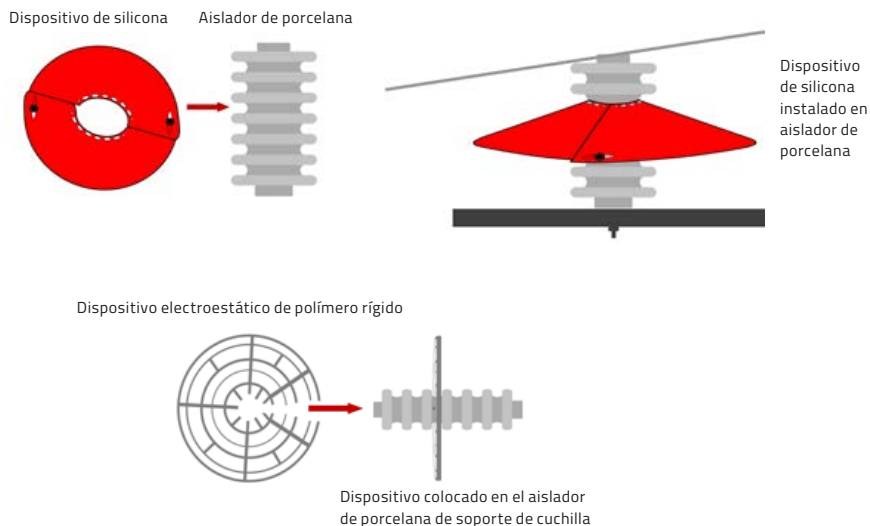


Figura C.9 (arriba) Dispositivo cónico de silicona y disposición sobre un aislador suspendido. © Luis R. Lara/CNFL.

Figura C.10 (abajo) Disco polimérico y disposición vertical sobre un aislador de porcelana. © Luis R. Lara/CNFL

A3. DISPOSITIVOS PROTECTORES CIRCULARES PARA AISLADORES

Descripción

Actúan como una barrera física que impide que los animales trepen o se muevan a lo largo de las cadenas de aisladores y lleguen a la línea eléctrica.

Hay dos tipos, con o sin carácter electrostático. Los protectores electrostáticos consisten en un dispositivo de forma circular que se coloca en el aislador. Construido de un polímero rígido y provisto de filamentos, es capaz de almacenar energía eléctrica por medio del flujo eléctrico y del cable conductor y de descargarla cuando hay contacto. Esta descarga se da en un tiempo muy corto, sin provocar daño irreversible, cumpliendo su función de disuadir a la fauna.

Los protectores no electrostáticos funcionan a modo de barrera. Los hay en forma de disco, contruidos en plástico de alta densidad, y con forma cónica, elaborados con silicona. Además de su función de barrera, protegen el aislador de los excrementos de las aves; el diseño cónico evita que las aves puedan construir sus nidos sobre el dispositivo si se coloca en posición horizontal (Figuras C.9 y C.10).

El diámetro habitual es de 45-65 cm, aunque puede variar según el lugar donde se instalen.

Tienen el inconveniente de que pueden facilitar la colocación de nidos por parte de algunas especies, lo que debe vigilarse.

Colocación

Los discos rígidos, electrostático o no, se instalan en disposiciones tanto verticales como horizontales sobre cadenas de aisladores de amarre y suspensión. También se pueden utilizar entre elementos en subestaciones donde sea necesario excluir animales. Los dispositivos cónicos sólo se montan en posición horizontal debido a su forma, tanto en aisladores suspendidos como en pasatapas de transformadores (Figura C.11).

Ambos tipos se pueden instalar con las líneas energizadas, sin necesidad de interrumpir el suministro.



Figura C.11. Dispositivos electrostáticos instalados en aislantes de porcelana provistos de fusibles de una subestación.
© Ezequiel Herrera/CNFL

A4. BARRERAS ANTIESCALAMIENTO PARA POSTES

Descripción

Para prevenir que algunos grupos de fauna trepen por el poste de concreto o madera, se utilizan dispositivos tipo barrera sujetos alrededor del poste, como los llamados “picos de paloma”. Otra medida que ha sido aplicada es la colocación de una lámina de metal inoxidable, lisa y flexible, de un metro de ancho, envolviendo el poste de tal manera que provoque una superficie que dificulte que algún animal trepe por el poste. Además, existen otras opciones de dispositivos con diseños más desarrollados para este fin.

Colocación

Se instalan a una altura de entre 2 y 3 metros.

B. Medidas de acompañamiento: puentes aéreos artificiales para el paso de fauna arbórea

Descripción

Se instalan puentes entre zonas boscosas que han quedado fragmentadas por la construcción de carreteras o tendidos eléctricos, conectando puntos donde se ha registrado o es probable el cruce de fauna. Estos puentes artificiales reducen la necesidad de que la fauna silvestre utilice la línea eléctrica como corredor o descienda al suelo para cruzar la carretera, reduciendo el riesgo de ser atropellada.

Los diseños son muy variables; los simples pueden consistir en una sola cuerda de más de 15 mm de diámetro, o dos o tres cuerdas entrelazadas y tensas.

Otros diseños más elaborados incluyen un tipo 'hamaca', hecha de malla plástica sostenida por cuerdas o cables, con travesaños de madera o PVC para brindar estabilidad (Figura C.12).

Colocación

Las cuerdas del puente están atadas a árboles altos dentro del bosque, al menos a 10 m del borde del área despejada para aumentar la probabilidad de que los utilice la

vida silvestre. Se pueden instalar encima o debajo de la línea eléctrica, pero siempre con suficiente espacio para que los animales no intenten subirse a ella, y a una altura mínima de 10 m sobre el suelo.

Es importante elegir árboles fuertes y ramas robustas para la instalación. Deben estar alejados del tendido eléctrico para impedir que éste pueda ser utilizado como un punto de acceso al puente.



Figura C.12. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: puente aéreo con una sola cuerda; diseño con dos cuerdas; puente tipo “hamaca”; puente sobre una carretera. © CNFL



**UNIÓN INTERNACIONAL PARA
LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**

**CENTRO DE COOPERACIÓN
DEL MEDITERRÁNEO (UICN MED)**

C/ Marie Curie 22 – Parque Tecnológico de Andalucía
29590 Campanillas
Málaga, Spain
Tel. +34 952 02 84 30
Fax +34 952 02 81 45

uicnmed@iucn.org
<https://www.iucn.org/es/regions/mediterraneo>

