# Estudio identificación de criterios para la evaluación de impacto ambiental de proyectos eólicos y de transmisión eléctrica sobre aves y murciélagos

Global Gateway
Unión Europea
Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima
giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
aecid

Edición:
Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn • Alemania

Nombre del proyecto:
Team Europe Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile (RH2)

Marchant Pereira 150
7500654 Providencia
Santiago • Chile
+56 22 30 68 600
www.giz.de

Responsable:
George Cristodorescu

En coordinación:
Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago de Chile
56 22 367 3000
www.energia.gob.cl

Registro de Propiedad Intelectual Inscripción:
ISBN: 978-956-8066-64-2 Primera edición digital: marzo 2025

Cita:
Título: identificación de criterios para la evaluación de impacto ambiental de proyectos eólicos y de transmisión eléctrica sobre aves y murciélagos
Autor(es): GIZ, Myotis Chile.

Revisión y modificación: Sandra Pérez V. (GIZ), Tamara Díaz (GIZ), Meliza Gonzalez (Ministerio de Energía de Chile), Fernanda de Groote (Ministerio de Energía de Chile), Javiera Correa (Ministerio de Energía de Chile), Servicio de Evaluación Ambiental, Servicio Agrícola y Ganadero, Superintendencia del Medio Ambiente, Ministerio del Medio Ambiente, Ignacio Fernández (Myotis Chile) y Francisco Santander (Myotis Chile).
Edición: Sandra Perez V. (GIZ).
116, Páginas
Aerogeneradores- Líneas Eléctricas- Impacto en aves y murciélagos -Evaluación Ambiental

Aclaración:
Esta publicación ha sido preparada por encargo del Proyecto “Team Europe para el Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile” (RH2), el cual es cofinanciado por la Unión Europea (UE) y el Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima de Alemania (BMWK). La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH es una de las agencias implementadoras de la presente iniciativa y el Ministerio de Energía de Chile es la institución contraparte. Sin perjuicio de lo anterior, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile, GIZ, la Unión Europea o el BMWK. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile, GIZ, la Unión Europea o el BMWK.
Santiago de Chile, marzo de 2025.

# RESUMEN EJECUTIVO

El informe presenta un estudio exhaustivo enfocado en identificar criterios para la evaluación de impacto ambiental de proyectos eólicos y de transmisión eléctrica sobre aves y murciélagos en Chile, con el fin de desarrollar un marco que permita mitigar los efectos negativos de estas infraestructuras sobre la fauna. Dado el crecimiento de la industria de energías renovables en el país, particularmente en sectores como la energía eólica y solar, se ha generado una creciente preocupación por el impacto que estos proyectos pueden tener sobre las especies nativas. El estudio, realizado en colaboración con entidades internacionales como GIZ y bajo la supervisión del Ministerio de Energía de Chile, busca no solo proponer medidas de mitigación sino también establecer indicadores y frecuencias para un seguimiento eficaz de las acciones adoptadas, asegurando que estas contribuyan a la sostenibilidad ambiental. El informe se basa en la jerarquía de medidas de mitigación, reparación y compensación, que se aplican secuencialmente para abordar los impactos en la fauna. Las medidas de mitigación son el primer nivel y se orientan a evitar o reducir los impactos mediante ajustes en el diseño y operación de los proyectos, como la modificación de la velocidad de corte de los aerogeneradores o la desactivación temporal en períodos críticos para las especies. En caso de que los impactos no puedan ser completamente mitigados, se aplican medidas de reparación que buscan restaurar las condiciones originales de los hábitats afectados. Finalmente, cuando las medidas de mitigación y reparación no logran compensar completamente los efectos negativos, se implementan medidas de compensación que incluyen la creación de hábitats alternativos o refugios para las especies afectadas.

El informe incluye una revisión bibliográfica nacional e internacional que analiza proyectos de parques eólicos y líneas de transmisión, evaluando sus impactos y las medidas de mitigación aplicadas en diferentes países. Se entrevistó a expertos internacionales con el objetivo de obtener una visión integral de las mejores prácticas en la gestión de los impactos ambientales sobre aves y murciélagos. Asimismo, se identificaron las principales amenazas para estas especies, como la colisión con aerogeneradores, el barotrauma y la electrocución en líneas de transmisión.

El diagnóstico reveló que, aunque Chile cuenta con guías y normativas emitidas por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), la falta de estandarización y la variabilidad en la implementación de las medidas generan desafíos en la evaluación y control de los impactos. En base a estas conclusiones, se proponen criterios y metodologías para evaluar la significancia de los impactos en proyectos de energía eólica y líneas de transmisión, entre los que se destacan herramientas como el Índice de Peligro de Mortalidad (MGI) y el Índice de Sensibilidad de Aves (RSI), adaptados al contexto local. Además, el informe detalla las recomendaciones para implementar medidas de mitigación, reparación y compensación como también indicadores de cumplimiento que permitirán monitorear su efectividad a lo largo del tiempo. Finalmente, se destaca la importancia de establecer un seguimiento post-construcción y la necesidad de aplicar metodologías adaptativas que permitan ajustar las medidas en función de los resultados obtenidos.

En conclusión, el informe subraya la urgencia de uniformar los criterios de evaluación y reforzar las acciones de monitoreo y la jerarquía de medidas en proyectos eólicos y de transmisión eléctrica, garantizando así la protección de la fauna nativa y el desarrollo sostenible de las energías renovables en Chile.

# Índice de contenidos

**RESUMEN EJECUTIVO** ..... **3**
**1 Introducción** ..... **8**
**1.1 Objetivo general** ..... **9**
**1.2 Objetivos específicos** ..... **9**
**2 Metodología** ..... **10**
**2.1 Enfoque general** ..... **10**
**2.2 Metodología de investigación, herramientas y recursos** ..... **10**
2.2.1 Revisión bibliográfica nacional ..... 11
2.2.2 Revisión bibliográfica internacional ..... 11
2.2.3 Entrevistas con expertos internacionales ..... 11
2.2.4 Análisis y síntesis de la información ..... 12
**3 Resultados** ..... **13**
**3.1 Diagnóstico** ..... **13**
3.1.1 Diagnóstico nacional ..... 13
3.1.2 Diagnóstico internacional ..... 16
**3.2 Identificación de impacto directos en aves y murciélagos** ..... **19**
3.2.1 Barotrauma ..... 20
3.2.2 Electrocución y colisión con tendidos eléctricos ..... 20
3.2.3 Colisión con aerogeneradores ..... 21
3.2.4 Fragmentación y pérdida de hábitat ..... 22
**3.3 Clasificación de información de especies e impactos en Chile** ..... **23**
3.3.1 Mortalidad reportada por proyectos de parque eólicos en Chile ..... 23
3.3.2 Mortalidad de especies de aves y murciélagos reportada por líneas de transmisión eléctrica en Chile ..... 28
3.3.3 Grupos taxonómicos más vulnerables ..... 29
**3.4 Metodología de evaluación de impactos ambientales** ..... **34**
3.4.1 Valor ambiental de las especies (criterio de evaluación) ..... 35
3.4.2 Evaluación de la sensibilidad del área ..... 35
3.4.3 Magnitud del impacto ..... 36
3.4.4 Impacto potencial ..... 37
3.4.5 Ajustes de diseño de proyectos ..... 38
3.4.6 Estudio de rutas de vuelo ..... 39
**3.5 Criterios para evaluar la significancia de impactos** ..... **40**
3.5.1 Recopilación de criterios de evaluación ..... 40
**3.6 Método de factores ponderados para índices** ..... **50**
**3.7 Propuesta de herramientas o métodos de evaluación** ..... **52**
3.7.1 Índice de Peligro de Mortalidad (MGI) ..... 52
3.7.2 Índice de Sensibilidad de Aves (RSI) e Índice de Vulnerabilidad Espacial (SVI) ..... 57
3.7.3 Índice SSS (siglas en inglés de Species Sensitivity Score) ..... 64

**3.8 Consideraciones para la prefactibilidad de proyecto ... 66**
3.8.1 Nivel de riesgo intrínseco de la especie ... 67
3.8.2 Ubicación del proyecto ... 67
3.8.3 Hábitat potencial ... 68
3.8.4 Hábitats de relevancia ... 68
3.8.5 Diseño del proyecto ... 69
**3.9 Medidas ambientales y compromisos ambientales voluntarios ... 69**
3.9.1 Medidas ambientales para líneas de transmisión eléctrica ... 70
3.9.2 Medidas ambientales para proyectos eólicos ... 74
3.9.3 Compromisos ambientales voluntarios para parques eólicos y líneas de transmisión eléctricas ... 83
3.9.4 Información relevante para evaluación ambiental en el SEIA ... 85
3.9.5 Ajuste de diseño de proyectos y acciones de control ... 86
**3.10 Indicadores de cumplimiento y frecuencias de aplicación ... 87**
**3.11 Acciones alternativas en caso de incumplimiento ... 90**
3.11.1 Acciones requeridas por incumplimiento de indicadores ... 91
**3.12 Propuesta sobre medidas ambientales, indicadores y frecuencias ... 91**
3.12.1 Propuesta de medidas de mitigación para aves y murciélagos ... 91
3.12.2 Propuesta medidas de compensación para aves y murciélagos ... 93
3.12.3 Seguimiento ambiental y evaluación de impacto para aves y murciélagos ... 94
**3.13 Talleres participativos y reuniones con Red LASEIA ... 94**
3.13.1 Talleres sobre criterios de significancia de impactos de energía para aves y murciélagos ... 95
3.13.2 Talleres sobre medidas y seguimiento ... 97
3.13.3 Reunión con REDLASEIA ... 98
**4 Conclusiones ... 99**
**5 Bibliografía ... 100**
**6 Anexos ... 109**
**6.1 Anexo 1. Proyectos de parques eólicos revisados, ubicación, N° de RCA y año de obtención, grupo objetivo (aves y/o murciélagos) al cual fueron dirigidas las medidas de mitigación ... 109**
**6.2 Anexo 2. Proyectos de LTE revisados, ubicación, N° de RCA y año de obtención, grupo objetivo (aves y/o murciélagos) al cual fueron dirigidas las medidas de mitigación ... 113**

# Índice de tablas

**Tabla 1. Proyectos eólicos presentados en el SEIA en Chile** ..... **14**

**Tabla 2. Proyectos de líneas de transmisión eléctrica presentados al SEIA en Chile** ..... **14**

**Tabla 3. Especies de aves y murciélagos reportados en colisiones con aerogeneradores de los proyectos revisados** ..... **24**

**Tabla 4. Especies de aves reportadas en colisiones y electrocuciones en Líneas de Transmisión Eléctrica.** ..... **28**

**Tabla 5. Principales factores que inciden en la probabilidad de mortalidad y colisión de las aves con los aerogeneradores (Acuña *et al.,* 2016).** ..... **32**

**Tabla 6. Categorías de amenaza de acuerdo con la clasificación utilizada** ..... **35**

**Tabla 7. Criterios españoles para establecer la sensibilidad de las áreas en las que potencialmente se podría ubicar un parque eólico** ..... **44**

**Tabla 8. Criterios españoles para valorar el tamaño de un parque y potencial impacto sobre aves y murciélagos** ..... **45**

**Tabla 9. Impacto potencial de un proyecto en una zona concreta** ..... **45**

**Tabla 10. Directrices y regulaciones de Países Bajos para minimizar el impacto de la energía eólica en la fauna.** ..... **46**

**Tabla 11. Ejemplo de aplicación del método de factores ponderados** ..... **51**

**Tabla 12. Ejemplo de puntuación de potencial reproductor para el índice MGI** ..... **53**

**Tabla 13. Ejemplo de puntuación de categoría de conservación según la lista Roja de Alemania** ..... **54**

**Tabla 14. Índice MGI luego de incorporar los subíndices PSI y NWI** ..... **55**

**Tabla 15. Subclases del índice MGI y sus grados de importancia** ..... **55**

**Tabla 16. Índice final de mortalidad de murciélagos alemanes por parques eólicos.** ..... **56**

**Tabla 17. Puntuación de tipos de vuelo** ..... **59**

**Tabla 18. Puntuación de altura de vuelo** ..... **59**

**Tabla 19. Valores para carga alar (C1)** ..... **60**

**Tabla 20. Valores para relación de aspecto (C2)** ..... **60**

**Tabla 21. Valores para estacionalidad** ..... **61**

**Tabla 22. Valores para tamaño poblacional.** ..... **61**

**Tabla 23. Valores para estado de conservación** ..... **62**

**Tabla 24. Valores para capacidad reproductiva** ..... **62**

**Tabla 25. Valores para áreas de riesgo** ..... **63**

**Tabla 26. Ejemplo que ilustra los criterios utilizados para calcular el Índice de Conservación del Colimbo Chico en Irlanda** ..... **65**

**Tabla 27. Factores de riesgos considerados en el índice SSS** ..... **66**

**Tabla 28. Tipos de medidas utilizadas en proyectos de líneas de transmisión eléctrica para aves** ..... **70**

**Tabla 29. Tipos de medidas de mitigación para evitar colisión de aves y murciélagos** ..... **76**

**Tabla 30. Vulnerabilidad según número de colisiones en aves.** ..... **88**

# Índice de figuras

**Figura 1. Número de proyectos eólicos aprobados y en evaluación, por regiones, al año 2022 ..... 15**

**Figura 2. Número de proyectos de línea de transmisión eléctrica aprobados y en evaluación, por regiones, al año 2022 ..... 15**

**Figura 3. Total de fatalidades de murciélagos en parques eólicos de Europa, por país, entre 2002 y 2023 ..... 16**

**Figura 4. Total de fatalidades de aves en parques eólicos de Europa, por país, entre 2002 y 2023 ..... 17**

**Figura 5. Mortalidad y especies de murciélagos colisionados en parques eólicos en Chile ..... 31**

**Figura 6. Órdenes de aves que mayormente colisionan en parques eólicos en Chile ..... 33**

**Figura 7. Elementos del paisaje que los murciélagos utilizan como rutas de vuelo ..... 48**

**Figura 8. Criterios evaluados en el índice MGI ..... 52**

**Figura 9. Aplicación del índice SVI ..... 64**

**Figura 10. Tipos de disuasores de colisión ..... 71**

**Figura 11. Ubicación de disuasores de colisión en líneas de transmisión eléctrica ..... 71**

**Figura 12. Ejemplo de luces UV para minimizar colisión ..... 72**

**Figura 13. Restauración de hábitat bajo el tendido eléctrico ..... 74**

**Figura 14. Relación de número de mortalidades y la velocidad del viento ..... 77**

**Figura 15. Pintado de aspas y torre para prevenir colisión ..... 78**

**Figura 16. Pintado de torre para prevenir colisión con aves ..... 79**

**Figura 17. Creación de áreas de forrajeo para murciélagos dependiendo de los hábitos de vuelo de las especies ..... 82**

**Figura 18. Búsqueda de colisiones bajo los aerogeneradores ..... 85**

# 1 Introducción

Chile está experimentando un notable crecimiento en la industria de energía eólica y solar, impulsado por su compromiso con la transición de una matriz energética basada en combustibles fósiles a una matriz sustentable basada en energías renovables. En la región de Antofagasta y la región de Magallanes y Antártica Chilena, se están evaluando importantes proyectos de hidrógeno verde, aprovechando las excepcionales condiciones naturales de estas zonas para la generación de energías renovables por su alta radiación solar y sus fuertes vientos, respectivamente, lo que brinda una oportunidad única para posicionar a Chile como un referente mundial en el desarrollo de energías limpias y sostenibles.

La iniciativa de GIZ, denominada “Team Europe para el Desarrollo de Hidrógeno Renovable en Chile” (RH2), es un esfuerzo conjunto de la Unión Europea y BMWK para fomentar la colaboración con Chile en el desarrollo sostenible de su economía de hidrógeno renovable, en cooperación con el Ministerio de Energía. Para avanzar en esta industria en Chile, se destaca la utilización de energías renovables, específicamente energía eólica y solar, así como el transporte de esta energía a través de líneas de transmisión eléctrica (en adelante LTE) hacia las plantas generadoras de hidrógeno verde y sus derivados.

En este contexto, las actividades productivas necesarias para el funcionamiento de la industria del hidrógeno pueden tener impactos sobre la fauna nativa, especialmente aves y murciélagos. Estos impactos pueden incluir colisiones con las estructuras, electrocución, barotrauma o modificaciones de su hábitat y rutas de desplazamiento. Para identificar y evaluar estos impactos, así como proponer medidas de mitigación durante el proceso de evaluación ambiental, se utilizan las guías, criterios e instructivos de evaluación ambiental que el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) publica y actualiza constantemente. Mientras que, de forma referencial, se ha utilizado la “Guía para Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos Eólicos y de Líneas de Transmisión Eléctrica en Aves Silvestres y Murciélagos” publicada por el Servicio Agrícola Ganadero el 2015. Sin embargo, el año 2022, gracias a un convenio de colaboración entre el Ministerio de Energía y el Ministerio del Medio Ambiente, y enmarcado en la ejecución de la Estrategia Nacional de Conservación de Aves, se realizó una primera evaluación de las medidas que han sido aplicadas para reducir y medir el impacto de estos proyectos sobre aves y murciélagos, la cual permitió concluir que es necesario actualizar dicha guía, identificar criterios para determinar si los impactos generados son o no significativos, proponer medidas e indicadores de seguimientos adecuados y, en general, pasar de una herramienta de apoyo a un instrumento para guiar la evaluación ambiental, para lo cual se licitó el presente estudio de modo de entregar al SEA información que contribuya a su rol de uniformar criterios, requisitos, condiciones y otros procedimientos de carácter ambiental mediante el establecimiento de guías trámite. A su vez, este estudio también permite al Ministerio de Energía continuar colaborando con las acciones y metas de la Estrategia Nacional de Conservación de Aves, iniciativa de la que forma parte.

## 1.1 Objetivo general

Proponer criterios de determinación de significancia de impactos, medidas para abordarlos y sus respectivos indicadores de seguimiento para la evaluación del impacto ambiental de proyectos eólicos y de transmisión eléctrica sobre aves y murciélagos.

## 1.2 Objetivos específicos

- Objetivo específico 1: Diagnóstico nacional e internacional sobre la metodología ocupada para evaluar ambientalmente al componente aves silvestres y murciélagos para proyectos eólicos y líneas de transmisión eléctrica.
- Objetivo específico 2: Proponer criterios para evaluar la significancia de impactos de proyectos eólicos y de transmisión eléctrica sobre aves y murciélagos.
- Objetivo específico 3: Proponer parámetros, indicadores y frecuencias estandarizados para diseñar y evaluar sus resultados, así como también acciones sobre las medidas asociadas a los impactos sobre aves y murciélagos y compromisos ambientales voluntarios.

# 2 Metodología

## 2.1 Enfoque general

El enfoque de la metodología para este estudio se basó en una revisión exhaustiva nacional e internacional de proyectos energéticos, específicamente relacionados con la energía eólica y líneas de transmisión eléctrica. La revisión se complementó con entrevistas a expertos internacionales en la materia, para obtener una visión integral y actualizada de las mejores prácticas y experiencias en el campo.

En el caso de la revisión nacional, esta incluyó el análisis de proyectos existentes y en desarrollo dentro de Chile, evaluando sus impactos ambientales y las medidas de mitigación implementadas. Se examinaron los estudios de impacto ambiental (EIA) y declaraciones de impacto ambiental (DIA) presentados, así como las guías y normativas aplicables emitidas por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y otras entidades relevantes.

A nivel internacional, se realizó una investigación de casos de estudio y proyectos relevantes en diferentes países que han avanzado en la implementación de energías renovables o su uso para la producción de hidrógeno verde. Esta revisión incluyó la evaluación de marcos regulatorios, tecnologías utilizadas, y estrategias de mitigación de impactos ambientales sobre la fauna nativa, especialmente aves y murciélagos.

Las entrevistas a expertos internacionales cumplieron un papel crucial en esta metodología. Se seleccionaron especialistas reconocidos en los campos de la energía eólica, líneas de transmisión eléctrica y evaluación de impacto ambiental, quienes aportaron conocimientos y experiencias prácticas que enriquecieron el estudio. Estas entrevistas proporcionaron información valiosa sobre los desafíos y soluciones implementadas en diferentes contextos geográficos y regulatorios, permitiendo adaptar y mejorar las prácticas en Chile.

En resumen, la metodología combinó una revisión detallada de la literatura y proyectos existentes a nivel nacional e internacional, con una comprensión profunda obtenida a través de entrevistas con expertos de renombre, para desarrollar recomendaciones y guías actualizadas que optimicen la evaluación y mitigación de los impactos ambientales en la industria del hidrógeno renovable en Chile.

## 2.2 Metodología de investigación, herramientas y recursos

La metodología de la investigación para el estudio sobre los impactos ambientales de proyectos energéticos eólicos y líneas de transmisión eléctrica en Chile se estructuró en varias fases clave, combinando una revisión exhaustiva de proyectos nacionales e internacionales con entrevistas a expertos de renombre en la materia.

A continuación, se detallan las fases de esta metodología:

### 2.2.1 Revisión bibliográfica nacional

- Identificación y selección de proyectos: se identificaron y seleccionaron proyectos energéticos eólicos y líneas de transmisión eléctrica en Chile ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), a través de su buscador de proyectos.1 Conjuntamente, se realizó una revisión de los informes publicados por los titulares de los proyectos en la página web del Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA)2.
- Análisis de EIA y DIA: se realizó un análisis detallado de los proyectos eólicos y líneas de transmisión eléctrica presentados como estudios de impacto ambiental o declaraciones de impacto ambiental enfocándose en las medidas de mitigación implementadas para hacerse cargo de impactos sobre aves y murciélagos.
- Revisión de guías y normativas: se revisaron guías y criterios emitidos por el SEA3 y otras entidades relevantes.

### 2.2.2 Revisión bibliográfica internacional

- Identificación de casos de estudio: se identificaron proyectos energéticos eólicos y líneas de transmisión eléctrica a nivel internacional que sean relevantes y hayan implementado medidas innovadoras de mitigación de impactos ambientales.
- Evaluación de marcos regulatorios y tecnológicos: se evaluaron los marcos regulatorios, tecnologías utilizadas y estrategias de mitigación en diferentes países, para identificar las mejores prácticas y lecciones aprendidas que puedan ser aplicables en el contexto chileno.
- Revisión de publicaciones científicas: se revisaron publicaciones científicas disponibles en diferentes plataformas de difusión, las cuales fueron seleccionadas en base a diversos criterios de búsqueda como son bats; birds; wind farms; eolic energy; power lines, bat mortality; bird collision, bird electrocution, entre otras.

### 2.2.3 Entrevistas con expertos internacionales

- Selección de expertos: se seleccionaron especialistas reconocidos a nivel mundial en los campos de la energía eólica, hidrógeno verde y evaluación de impacto ambiental.
- Diseño de entrevistas: se diseñaron guías de entrevista que abordan temas clave, como desafíos y soluciones en la implementación de proyectos de energías renovables, medidas de mitigación de impactos ambientales y experiencias en diferentes contextos geográficos y regulatorios.
- Realización de entrevistas: se llevaron a cabo entrevistas en profundidad con los expertos seleccionados, obteniendo valiosas visiones y recomendaciones basadas en su experiencia y conocimiento.

---

[1] Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. [en línea] https://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyecto.php

[2] Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental. [en línea] https://snifa.sma.gob.cl/Instrumento

[3] Buscador de guías y criterios emitidos por el SEA [en línea] https://www.sea.gob.cl/documentacion/guias-y-criterios

### 2.2.4 Análisis y síntesis de la información

- Integración de resultados: se integraron los resultados de la revisión bibliográfica y las entrevistas con expertos para desarrollar una visión comprensiva de las mejores prácticas y áreas de mejora.
- Evaluación de impactos y medidas ambientales: se evaluaron los impactos identificados y las medidas ambientales propuestas, considerando su efectividad y aplicabilidad en el contexto chileno.

# 3 Resultados

A continuación, se realiza un diagnóstico nacional e internacional en materia de evaluación ambiental de proyectos de generación eólica y líneas de transmisión sobre fauna voladora, luego se identifican los principales impactos,

## 3.1 Diagnóstico

### 3.1.1 Diagnóstico nacional

El Artículo N°10 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley N° 19.300/1994), establece un listado de tipos de proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, que deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de líneas de transmisión eléctrica de alto voltaje que conducen energía eléctrica con una tensión mayor a veintitrés kilovoltios (23 kV) y las centrales generadoras de energía mayores a 3 MW deben ingresar al SEIA, además, cualquier modificación a un proyecto o actividad existente que incluya obras, acciones o medidas que alteren significativamente el proyecto original debe ser sometida al SEIA.

Luego el titular del proyecto debe definir la modalidad de ingreso, para ello, debe analizar los efectos, características o circunstancias descritas en los Artículos N° 5 al 11 del D.S N°40/2012 Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA). Si se determina que alguno de estos elementos está presente en cualquier etapa del proyecto, se generan impactos significativos, donde el proyecto debe presentarse como un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), haciéndose cargo de estos impactos, a través de medidas de mitigación, reparación y compensación. En caso contrario, se ingresa al SEIA con una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), la cual tiene por objetivo demostrar que no se generarán impactos significativos. Ambas modalidades de ingresos deben velar por el cumplimiento de la normativa ambiental vigente para la obtención de su resolución de evaluación ambiental (RCA) favorable.

Sobre los potenciales impactos generados tanto a la avifauna como a murciélagos, debido al proceso de producción eléctrica por aerogeneradores y líneas de transmisión eléctricas, se han identificado guías tramites publicadas por el SEA, las cuales abordan algunos de estos aspectos, por ejemplo: “Guía de evaluación de efectos adversos sobre recursos naturales renovables” (SEA, 2023), “Criterio de evaluación en el SEIA: evaluación de impactos por ruido sobre fauna nativa” (SEA 2022), la “Guía para la descripción de centrales eólicas de generación de energía eléctrica en el SEIA” (SEA, 2020) o la reciente “Guía de evaluación en el SEIA: golondrinas de mar en el SEIA” (SEA, 2024). Algunos de los potenciales impactos son:

- Pérdida de individuos de una población (colisión o muerte de aves o murciélagos).
- Perturbación de fauna (emigración o interrupción de algún proceso de biológico como lo es la reproducción).
- Pérdida de hábitat (sitios de nidificación por emplazamiento de obras o iluminaria para ciertas aves). Modificación de la población, cambios en sus propiedades tales como:
    - Tamaño o densidad de población.
    - Estructura de edad y sexo.
    - Movimientos migratorios.
    - Potencial reproductor (reclutamiento, fertilidad).

#### 3.1.1.1 Identificación de proyectos eólicos y líneas eléctricas en el SEIA

En Chile existe una base de datos pública en el marco de la evaluación ambiental de proyectos, accesible a través de la plataforma del SEIA. Han ingresado, entre 2006 y junio de 2024, un total de 151 proyectos eólicos o modificaciones a proyectos existentes, los cuales se encuentran con Resolución de Calificación Ambiental (RCA) favorable, en calificación o desfavorable. De estos, 40 fueron presentados como EIA y 111 como DIA (ver **Tabla 1**). Cabe destacar que la región del Biobío lidera en cantidad de proyectos eólicos con 45, seguida por Coquimbo con 24 y, en tercer lugar, la región de Antofagasta con 23 proyectos (ver Figura 1).

**Tabla 1.** Proyectos eólicos presentados en el SEIA en Chile

| Proyectos eólicos y sus modificaciones | RCA favorable | En calificación | RCA desfavorable | Total |
|---|---|---|---|---|
| **EIA** | 21 | 17 | 2 | 40 |
| **DIA** | 105 | 5 | 1 | 111 |
| | | | | 151 |

*Fuente: SEIA, fecha de revisión junio 2024.*

Con respecto a los proyectos de transmisión eléctrica, se han presentado 493 proyectos (ver Tabla 2), de los cuales 73 corresponden a EIA y 420 corresponden a DIA. La distribución por regiones de los proyectos está dominada por la región de Antofagasta con 101 proyectos, seguida por la región Metropolitana con 65 proyectos y la región de Atacama con 60 proyectos (ver Figura 2). Cabe destacar que cuando estos proyectos abarcan más de una región, se les llama interregionales y existen 53 de este tipo de proyectos.

**Tabla 2.** Proyectos de líneas de transmisión eléctrica presentados al SEIA en Chile

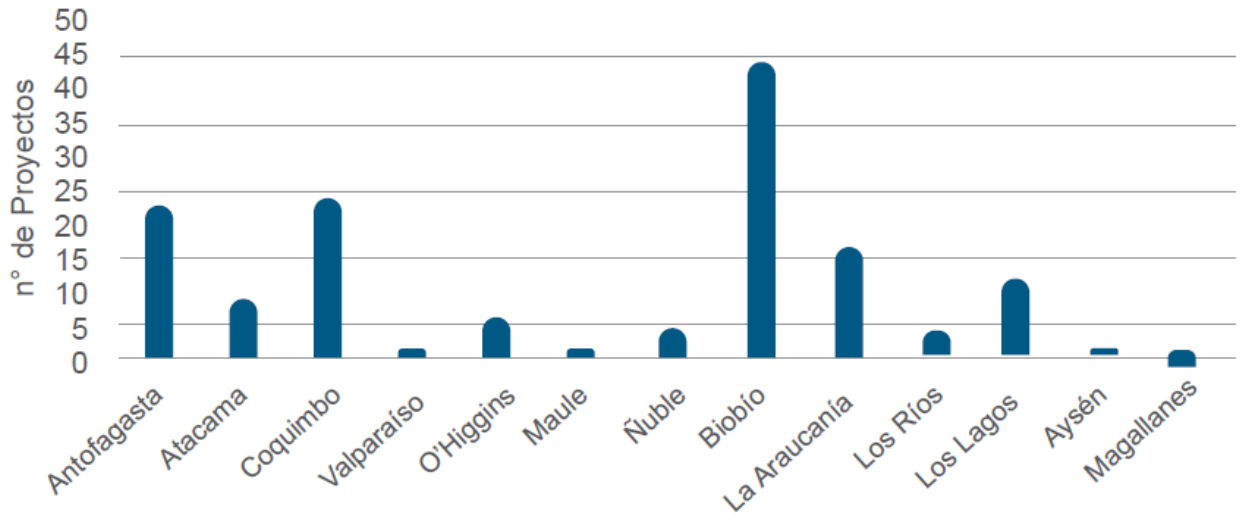
| Líneas de transmisión eléctrica | RCA Favorable | En calificación | RCA desfavorable | Total |
|---|---|---|---|---|
| **EIA** | 65 | 6 | 2 | 73 |
| **DIA** | 380 | 33 | 7 | 420 |
| | | | | 493 |

Fuente: SEIA, fecha de revisión junio 2024

**a) Identificación de proyectos eólicos en el SEIA**

A partir de la lista de proyectos descritos en el informe elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Energía (2022a), y una revisión de otros proyectos presentados a evaluación ambiental, se seleccionaron 65 proyectos eólicos presentados bajo la tipología de EIA y DIA. De estos, 62 cuentan con RCA favorable y 3 están en proceso de calificación (ver Anexo 1). Las regiones con mayor cantidad de proyectos son Biobío, Coquimbo y Antofagasta (ver Figura 1), las que se concentran en presentar los proyectos como DIA. Por otra parte, las regiones con mayor cantidad de proyectos presentados mediante EIA son Atacama, Coquimbo y Los Lagos.

**Figura 1.** Número de proyectos eólicos aprobados y en evaluación, por regiones, al año 2022

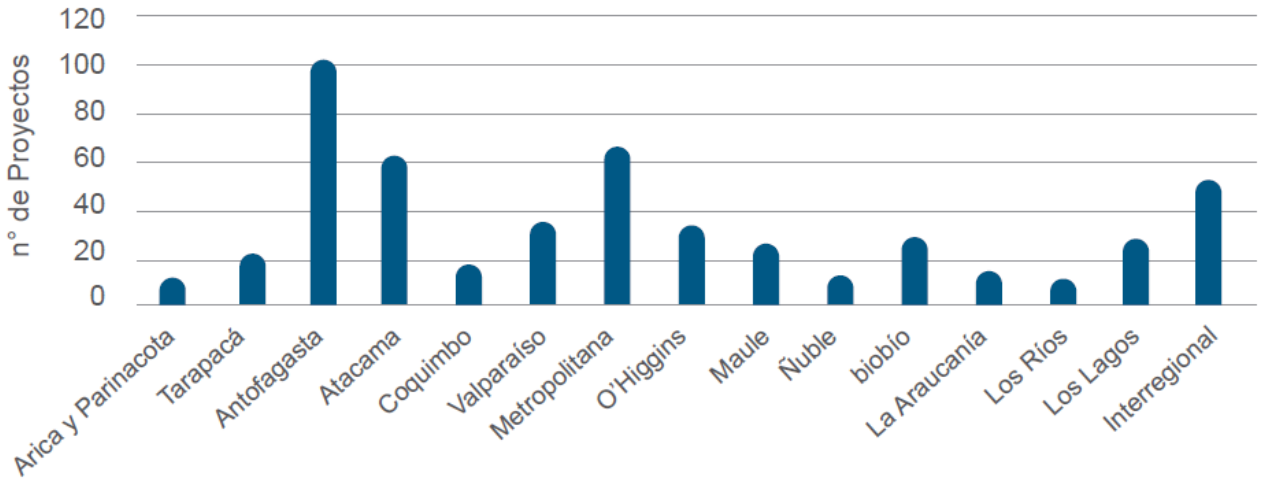



*Fuente: Elaboración propia*

**b) Identificación de proyectos de línea de transmisión eléctrica en el SEIA**

A partir de la lista de proyectos descritos en el informe elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía (2022a), como también una revisión de otros proyectos presentados a evaluación ambiental en el SEIA, se seleccionaron 36 proyectos de transmisión eléctrica presentados bajo la forma de EIA o DIA. De estos, 35 han obtenido RCA favorables y 1 proyecto está en proceso de evaluación ambiental. En relación con la representatividad nacional, las regiones con mayor cantidad de proyectos corresponden a Maule, Antofagasta, Atacama y Tarapacá. De los 36 proyectos, 8 presentan una extensión interregional (más detalle en Anexo 2).

**Figura 2.** Número de proyectos de línea de transmisión eléctrica aprobados y en evaluación, por regiones, al año 2022




*Fuente: Elaboración propia*

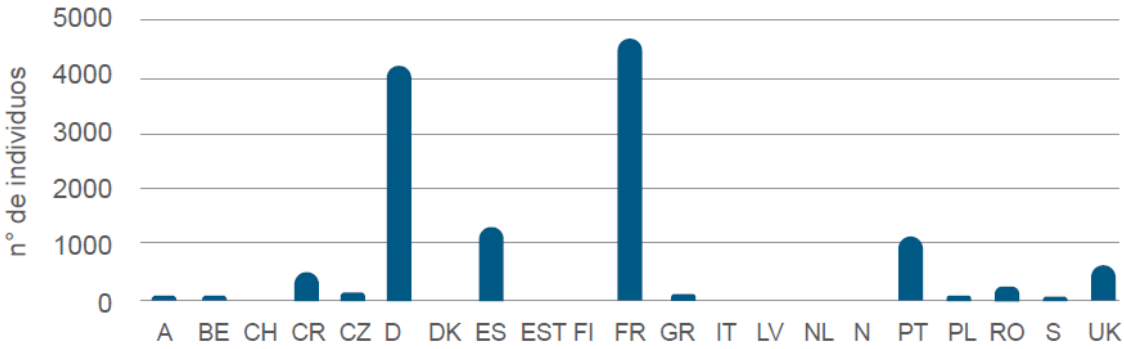
### 3.1.2 Diagnóstico internacional

Se visualiza la realidad de referentes internacionales respecto a la disyuntiva de cuándo se produce la pérdida de biodiversidad de fauna voladora dada la transición de la matriz energética mundial. En este sentido, a nivel global la generación de energía eólica ha experimentado un crecimiento anual entre un 10% y un 20% en el periodo 2012-2021 (IRENA, 2022). A finales de 2022, la capacidad total instalada de energía eólica alcanzó los 841.9 gigavatios (GW) en tierra y 64.3 GW en el mar (*off shore,* en inglés), añadiendo ese mismo año 77.6 GW de nueva capacidad eólica. Mientras que los mayores incrementos se observan en la región Asia-Pacífico, el más grande mercado eólico del mundo, donde el país de China ha contribuido con un 87% del crecimiento (GWEC,2023). A su vez, los mercados emergentes en la franja tropical y el hemisferio sur, como son los países de Mozambique, India, Vietnam, Brasil, Chile y Colombia, han contribuido significativamente al aumento regional de capacidad eólica instalada (Voigt *et al*., 2024). Sin embargo, los países con economías desarrolladas, con una amplia experiencia en el tema como lo son países del continente europeo, enfrentan problemáticas similares a la situación en Chile, donde no existe una estandarización de los monitoreos de mortalidad de fauna voladora por país ni por empresas, lo que dificulta dimensionar el impacto real de la energía eólica y las líneas de transmisión eléctrica en la fauna voladora.

Según la base de datos de la Oficina de Medio Ambiente del Estado Federal de Brandemburgo de Alemania, existe una gran disparidad en los datos de mortalidad de fauna voladora entre diferentes países europeos (LFU,2023). Esto se debe, en parte, a que algunos países han adoptado protocolos de monitoreo más estrictos que otros, lo cual ha llevado a una mayor exactitud en los informes de mortalidad.

A continuación, en la **Figura 3** se identifica que los países europeos con mayor mortalidad de murciélagos durante el periodo 2002-2023, corresponden a Francia, Alemania, España y Portugal. En Francia se reportaron 4.594 fatalidades, mientras que en otros países como Noruega, Dinamarca, Estonia y Finlandia se han reportado mínimas muertes de estos, con cifras que van de 1 a 6 murciélagos.

**Figura 3.** Total de fatalidades de murciélagos en parques eólicos de Europa, por país, entre 2002 y 2023

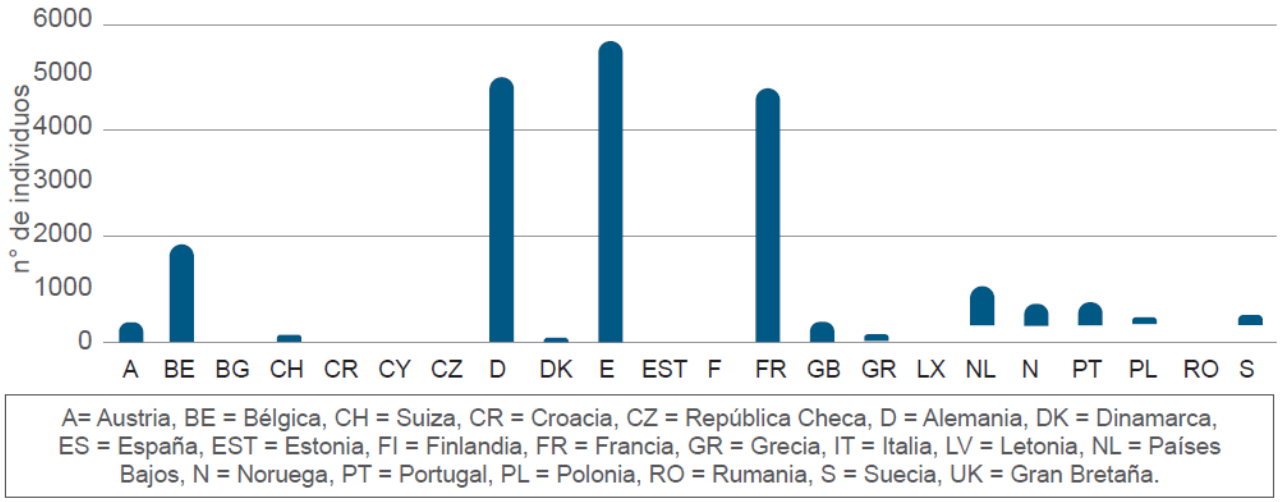



A= Austria, BE = Bélgica, CH = Suiza, CR = Croacia, CZ = República Checa, D = Alemania, DK = Dinamarca, ES = España, EST = Estonia, FI = Finlandia, FR = Francia, GR = Grecia, IT = Italia, LV = Letonia, NL = Países Bajos, N = Noruega, PT = Portugal, PL = Polonia, RO = Rumania, S = Suecia, UK = Gran Bretaña.

*Fuente: Elaboración propia*

En el caso de las aves, los países de España, Alemania, Francia y Bélgica registran las cifras más altas de mortalidad durante el periodo 2002-2023, donde España reporta 5.570 fatalidades, mientras que países como Croacia, Chipre, Estonia, Rumania y Luxemburgo reportan mortalidades que van de 1 a 3 aves. Estos datos indican que los países con mejores sistemas de monitoreo son también los ubicados en áreas geográficas de migración intra e intercontinental de aves y murciélagos, lo que los hace más vulnerables a presentar alto número de colisiones con aerogeneradores (ver **Figura 4**).

**Figura 4.** Total de fatalidades de aves en parques eólicos de Europa, por país, entre 2002 y 2023




*Fuente: Elaboración propia*

Las fatalidades reportadas se basan en el conteo de carcasas (cadáveres) encontrados bajo los aerogeneradores o en sus inmediaciones. Sin embargo, contar carcasas no es en sí una medida de conservación ni garantiza que el desarrollo de los proyectos sea ambientalmente sostenible. Por otra parte, las instituciones de crédito bancario y los gobiernos deben asegurar la implementación de medidas de conservación según la jerarquía de mitigación y en cumplimiento con acuerdos internacionales como es la Convención de Berna o la Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias. No obstante, los gobiernos y las instituciones de crédito como es el Grupo del Banco Mundial, la Corporación Financiera Internacional, el Banco Europeo para la Reconstrucción y el Desarrollo, el Banco Asiático de Desarrollo y el Banco Alemán Kreditanstalt für Wiederaufbau, pueden exigir estándares de conservación como condición para financiar o subsidiar proyectos de energía eólica. Es por ello que el monitoreo post-construcción de los proyectos eólicos debería ser obligatorio y sus resultados deberían estar disponibles al público.

Para el caso de países del continente americano está Estados Unidos, donde se identifica que la responsabilidad de determinar el tipo de impacto que generará un proyecto recae en los desarrolladores o titulares del proyecto. Después de presentar el proyecto a la autoridad ambiental, ésta proporciona retroalimentación respecto al nivel de riesgo del proyecto, basado en mapas de riesgo de impacto. Una vez establecidos estos impactos, el titular propone las medidas que implementará para minimizar o compensar dicho impacto. Sin embargo, cuando hay poca información sobre alguna especie que podría verse afectada, la autoridad ambiental del país propone las medidas más conservadoras posibles para prevenir efectos adversos en estas especies. Mientras que, en el caso donde se requieren medidas voluntarias como el monitoreo de especies en categoría de conservación, es necesario que el titular obtenga un Permiso de Captura Accidental (*Incidental Take Permit*, en inglés) para poder monitorear y manipular los cadáveres de

especies en peligro o amenazadas. Según este permiso, los monitoreos de mortalidad deben ser presentados al U.S. Fish & Wildlife Service[4], los cuales quedan de acceso público.

De acuerdo con estos informes, en los parques eólicos del Estado de Indiana: Bitter Ridge, Bluff Point, Fowler Ridge, Headwaters, Meadow Lake, Rosewater y Wildcat, se realizó un monitoreo semanal de mortalidad en las estaciones del año de primavera y otoño, correspondientes a los períodos migratorios de murciélagos y aves, que son los que generan mayor mortalidad. El objetivo de este monitoreo fue seguir las especies que colisionan con los aerogeneradores y asegurar que no se sobrepase la cuota estimada de mortalidad por parque. Sin embargo, esta cuota no estaba especificada en los reportes, ni tampoco las sanciones indican si se sobrepasa cierta cuota. Además, cada monitoreo de mortalidad estaba acompañado de estudios estandarizados de remoción de cadáveres y efectividad de búsqueda.

#### 3.1.2.1 Revisión de proyectos en Alemania, España y Países Bajos

En el marco de conocer las realidades existentes en otros países, se realizaron entrevistas a especialistas, referentes en el tema en sus respectivos países, en las cuales han compartido su experiencia respecto a legislación, monitoreos y medidas de conservación de la fauna voladora en parques eólicos y líneas de transmisión eléctrica.

Los especialistas entrevistados fueron:

- Christian Voigt: biólogo alemán, jefe del Departamento de Ecología Evolutiva de Leibniz-IZW.
- Fiona Mathews: bióloga inglesa, profesora de biología ambiental del Departamento de Ecología y Evolución de la Universidad de Sussex.
- Martijn Boonman: Investigador de Países Bajos, Waarden Burg Ecology.
- Juan Manuel Perez García: ecólogo español, profesor de ecología en la Universidad Miguel Hernández de Elche.

Los especialistas europeos poseen diferentes perspectivas, sin embargo, coinciden en muchos aspectos sobre las dificultades para conocer el verdadero impacto de los aerogeneradores y líneas de transmisión eléctrica en la fauna voladora.

Para los entrevistados, acceder a la información es muy difícil, aunque la protección de aves y murciélagos a nivel europeo es fuerte y estricta, regida por la Convención de Berna y la Directiva de Hábitats[5]. Sin embargo, según los entrevistados existen diferencias en la interpretación e implementación en los diversos países europeos, lo cual no obliga a los titulares a transparentar sus datos de monitoreo, dificultando el acceso a la información sobre el impacto post-construcción de los aerogeneradores en los murciélagos, especialmente en el Reino Unido y Alemania.

Además, destacan múltiples diferencias en los estándares y prácticas de monitoreo entre países, subrayando la necesidad de actualizar las directrices y considerar el impacto de los desarrollos de energía eólica en el desplazamiento de aves y murciélagos de sus hábitats. Señalan la falta de consideración de este problema en los procesos de planificación.

Esta diferencia existe incluso en los compromisos adquiridos, donde un ejemplo importante es la práctica de detenciones programadas (*curtailment*), conocida e implementada en parques eólicos en tierra, pero no en proyectos *offshore*, siendo Países Bajos el único país que lo ha implementado

[4] 3-200-56: Incidental Take Permits Associated with a Habitat Conservation Plan [en línea] https://www.fws.gov/service/3-200-56-incidental-take-permits-associated-habitat-conservation-plan
[5] Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habits [en línea] http://www.coe.int/en/web/bern-convention

en este último contexto. Esta heterogeneidad existe incluso en términos de cumplimiento de compromisos: España es el país más exigente en esta materia. Según Juan Manuel Pérez García, cada Comunidad Autónoma propone un número crítico de mortalidad de especies bajo ciertos criterios de conservación, como "En Peligro Crítico", "En Peligro" y "Vulnerable". Si la mortalidad sobrepasa un cierto número de individuos, se envía una advertencia al titular para que implemente medidas de minimización de la mortalidad. Si estas no son cumplidas, la autoridad ambiental tiene la potestad de parar la producción del aerogenerador causante de las mortalidades y, como última medida, proceder a su desmantelamiento. Sin embargo, esta medida todavía no se ha aplicado en España.

## 3.2 Identificación de impacto directos en aves y murciélagos

Numerosas evidencias indican la colisión de aves y murciélagos con aerogeneradores, debido a las altas velocidades de giro, especialmente en los extremos de las aspas, que pueden superar los 200 km/h. Sin embargo, en el caso de los murciélagos, estas colisiones ocurren más frecuentemente cuando las aspas giran lentamente, ya que no logran detectar ni reconocer estas estructuras móviles mediante la ecolocalización, impidiendo que los identifiquen como peligrosos hasta que es demasiado tarde. Estas colisiones pueden ocurrir durante sus vuelos migratorios o durante el forrajeo (alimentación) (Rodrigues *et al*., 2015). Las muertes durante el forrajeo ocurren en cierta medida cuando, al momento de la emisión del ultrasonido, este pasa entre las aspas sin ser detectado por los murciélagos. Incluso en especies con alta frecuencia de emisión, el ultrasonido no viaja mucho en el espacio, obligándolos a acercarse a sus presas y obstáculos para su detección, haciéndolos más susceptibles a las colisiones con elementos en movimiento. No obstante, Jonasson (2023) también postula que muchos murciélagos pueden perder el control del vuelo y estrellarse en el suelo debido a la turbulencia generada a nivel de las aspas.

En el caso de las aves, debido a su capacidad de vuelo, son vulnerables a la colisión con diversas estructuras elevadas, como edificios, tendidos eléctricos y turbinas eólicas (Rioux *et al.,* 2013). La mortalidad de aves por colisiones con aerogeneradores ha sido consistentemente identificada como una de las principales amenazas ecológicas de la energía eólica (Drewitt & Langston, 2006). No obstante, las colisiones con aerogeneradores parecen afectar a un número menor de aves en comparación con otras infraestructuras artificiales, como líneas eléctricas, edificios o incluso el tráfico vehicular (Calvert *et al.,* 2013; Erickson *et al.,* 2005).

Por otro lado, los tendidos eléctricos presentan efectos adversos significativos sobre las poblaciones de aves, convirtiéndose en un problema de conservación crítico, especialmente para aves de gran tamaño como las rapaces (Bevanger, 1998; Janss & Ferrer, 1999; APLIC, 2006; Lehman *et al.,* 2007). La infraestructura eléctrica no solo causa millones de muertes de aves anualmente en Estados Unidos (Loss *et al.,* 2014), afectando negativamente a las poblaciones de aves en diversos ecosistemas globales, sino que también provoca pérdidas económicas significativas para las empresas eléctricas debido a interrupciones del suministro y reparaciones de equipos (Lehman *et al.,* 2007; Dwyer *et al.,* 2013). El daño causado por los tendidos eléctricos no se debe únicamente a la electrocución, sino también a las colisiones de aves con estas estructuras (Bevanger, 1998; Janss, 2000; APLIC, 2012). Además, las aves pueden ser afectadas por el campo electromagnético (CEM) generado por los tendidos eléctricos (Tryjanowski *et al.,* 2014), lo que impacta su conducta, éxito reproductivo, desarrollo y fisiología (Fernie & Reynolds, 2005). Los estudios indican que los campos electromagnéticos (CEM) pueden afectar la capacidad reproductiva de las aves. La exposición prolongada a estos campos se asocia con disminuciones en la fertilidad y la viabilidad de los huevos, así como alteraciones en el comportamiento de apareamiento y un mayor riesgo de anomalías en el desarrollo embrionario. Estos efectos pueden estar relacionados con desequilibrios hormonales y cambios en el metabolismo energético. El sistema endocrino parece ser uno de los

más afectados, ya que los CEM pueden alterar la producción de melatonina, impactando los ciclos circadianos, el comportamiento migratorio y los patrones de sueño. Estos factores son críticos para la supervivencia y el éxito reproductivo de diversas especies. Aunque los mecanismos exactos no están completamente aclarados, las investigaciones preliminares sugieren que los CEM interfieren con los sistemas hormonales y de orientación de las aves (Fernie & Reynolds, 2005).

### 3.2.1 Barotrauma

El barotrauma afecta principalmente a los murciélagos. Este fenómeno ocurre cuando se generan cambios de presión debido a la velocidad de giro de las aspas, lo que produce hemorragias internas y ruptura de órganos en los individuos.

Durante las búsquedas de carcasas bajo los aerogeneradores, se han encontrado murciélagos sin daños aparentes de colisión, como fracturas, cortes o laceraciones en los tejidos superficiales. Esto ha motivado una investigación más exhaustiva de estos especímenes y la revisión de sus órganos internos. Según los hallazgos, se formuló la hipótesis de muerte causada por barotrauma, originada por una fuerte descompresión debido al vórtice generado por las aspas en movimiento. Esta hipótesis sugiere que estos murciélagos, muertos por barotrauma, son expuestos a una rápida reducción de la presión del aire, dañando los tejidos de órganos que contienen aire en su interior. Uno de los hallazgos más frecuentes es el barotrauma pulmonar, que se manifiesta con hemorragia en las cavidades torácica y abdominal (Baerwald *et al.,* 2008).

Sin embargo, algunos investigadores han propuesto que el daño provocado por esta diferencia de presión corresponde a un daño directo en el conducto auditivo, causando la ruptura del tímpano. Esto dejaría a los murciélagos sin capacidad de orientarse en el espacio, resultando en muerte por inanición o por impactos directos con el suelo u otras estructuras (Christian Voigt, comunicación personal). Si esto realmente estuviera ocurriendo, habría una gran cantidad de mortalidad de murciélagos que no se contabiliza, ya que estos individuos podrían morir en áreas que no se están monitoreando.

No obstante, hay autores que plantean que los casos presentados como barotrauma a menudo corresponden al proceso autolítico de las carcasas, que en su degradación generan falsos diagnósticos de barotrauma pulmonar. Esto se debe a que los hallazgos encontrados en murciélagos bajo aerogeneradores, como hernia diafragmática, laceraciones cutáneas y embolias de la médula ósea, también son frecuentes en murciélagos que han colisionado con edificios en otras localidades (Rollins *et al.,* 2012). La teoría del barotrauma sigue en estudio, pero continúa considerándose la diferencia de presión como un factor que provoca la pérdida de funcionalidad y la posterior muerte de los murciélagos.

### 3.2.2 Electrocución y colisión con tendidos eléctricos

La electrocución suele ocurrir cuando un animal entra en contacto con dos cables energéticos y una estructura conectada a tierra. Aunque las aves de gran tamaño son generalmente más vulnerables, el tamaño reducido de la mayoría de las especies de murciélagos disminuye su riesgo de electrocución (Falcão *et al*, 2024). Este parece ser el caso en los Estados Unidos, donde se han encontrado murciélagos incidentalmente durante búsquedas de mortalidad de aves en corredores de líneas eléctricas. Sin embargo, los murciélagos tropicales de gran tamaño, como los zorros voladores (*Pteropodidae*), pueden estar en mayor riesgo, ya que su gran envergadura, superior a un metro, puede facilitar el contacto con dos o más cables energizados. Estas mortalidades están asociadas a murciélagos denominados antiguamente como zorros voladores presentes en África, Asia y Australia. En Chile, no se ha descrito la afectación de especies de murciélagos por electrocución, ya que los murciélagos presentes en nuestro país son de pequeña envergadura y, por lo general, no utilizan líneas eléctricas como perchas o refugios.

Cabe destacar que la electrocución y colisión de aves con los tendidos eléctricos es uno de los mayores problemas de conservación para una gran cantidad de especies. Actualmente, se han convertido en un importante problema de conservación en todos los continentes, especialmente para las aves de gran tamaño como son las rapaces (Janss & Ferrer, 1999; APLIC, 2006; Lehman *et al*., 2007; Dwyer *et al*., 2023; Rebolo-Ifran *et al.,* 2023). El impacto de los tendidos eléctricos puede ser mediante la colisión o electrocución de aves con los conductores o cable de guardia[6] en los tendidos de transmisión, o mediante la electrocución en los tendidos de distribución principalmente (Janss, 2000; Bernardino *et al.,* 2019; Guil & Pérez-García, 2022). Además, las aves pueden ser afectadas por el campo electromagnético que produce el tendido eléctrico (Tryjanowski *et al.,* 2014; Fernie & Reynolds, 2005), afectando su conducta, éxito reproductivo, desarrollo y fisiología (Fernie & Reynolds, 2005). La electrocución de aves en tendidos eléctricos es el resultado de tres elementos que interactúan entre sí: la morfología de la especie (envergadura alar y el comportamiento de perchado típico de las rapaces para buscar presa), el medio ambiente y la estructura del tendido, particularmente de los postes (Lehman *et al.,* 2007; Dixon *et al.,* 2013; Acuña *et al.,* 2016). El tamaño es uno de los factores más importantes que hacen susceptibles a ciertas especies a la electrocución, siendo las especies de mayor tamaño y los individuos más grandes los que se encuentran en mayor riesgo (Dwyer, 2015).

Las líneas de transmisión eléctrica afectan a las aves principalmente interponiéndose en las rutas de vuelo generando efectos de barrera, efectos de borde, pérdida de hábitat o fragmentando sus áreas de forrajeo (Biasotto and Kindel, 2018). Es así como el principal impacto producido por las líneas de transmisión es la colisión de aves con el tendido eléctrico, y generalmente con el cable de guardia que se instala entre las torres de alta tensión (Rioux *et al.,* 2013).

### 3.2.3 Colisión con aerogeneradores

La mortalidad de aves y murciélagos debido a colisiones con aerogeneradores ha sido consistentemente identificada como una de las principales amenazas ecológicas de la energía eólica (Marques *et al*., 2014; Smallwood and Bell, 2020). Como se mencionó anteriormente, las colisiones con aerogeneradores parecen afectar a un menor número de aves que las colisiones con otras infraestructuras artificiales, tales como líneas eléctricas, edificios o incluso, el tráfico vehicular. La mortalidad en los aerogeneradores ocurre de tres formas: colisión con las aspas, colisión con la torre y barotrauma.

El número de aves y murciélagos muertos varía entre parques eólicos e incluso al interior de un mismo parque. Es frecuente que en un parque eólico sea solo un pequeño porcentaje de los aerogeneradores el que genera mayor cantidad de mortalidades debido, principalmente, a las características del sitio donde se ubican los aerogeneradores (Atienza *et al*., 2011). En cuanto a las especies afectadas, las aves rapaces son el grupo que con más frecuencia es reportado, seguido por las aves paseriformes y murciélagos (Pérez-García & Serrano, 2023), siendo algunas especies más vulnerables que otras al interior de cada uno de estos grupos (Hull *et a*l., 2013; Smallwood and Bell, 2020).

La información sobre los factores que influyen en el riesgo de colisión y de mortalidad de aves y murciélagos son escasos y carecen de integración (Marques *et al.,* 2014). Sin embargo, se han identificado diversos factores que influyen en los proyectos de energía eólica. Los que más contribuyen al riesgo de mortalidad y colisión se agrupan de acuerdo a las características de las

[6] Un cable de guarda es utilizado para proteger las torres contra las descargas eléctricas. Son instalados sobre la línea eléctrica actuando como una especie de pararrayos. Estos cables son fabricados de formas y materiales diferentes, uno de los diseños más comunes es el que consta de siete hilos entrelazados entre sí que posee una matriz o núcleo de acero y están recubiertos con aluminio. El cable de guarda también se utiliza para la colocación de señalizaciones, como por ejemplo las esferas de balizaje.

especies (morfología, percepción sensorial, la fenología, abundancia, el comportamiento de forrajeo y reproductivo) y las características del sitio (paisaje, rutas de vuelo, la disponibilidad de alimentos y clima) (Langston & Pullan, 2003; Kunz *et al.,* 2007; Atienza *et al.,* 2011; Richardson *et al.,* 2021) y la configuración de los parques eólicos (altura del aerogenerador, diámetro de las aspas, visibilidad e iluminación) y las características del sitio (Powlesland, 2009; Atienza *et al.,* 2011; Acuña *et al.,* 2016; Thaxter *et al.,* 2017; Richardson *et al.,* 2021).

### 3.2.4 Fragmentación y pérdida de hábitat

Los aerogeneradores se han convertido en una grave amenaza para las aves migratorias al chocar con las aspas de los aerogeneradores en algunas regiones del mundo, mientras que el impacto en los mamíferos terrestres está relativamente menos explorado (Kumara *et al.,* 2022). Los parques eólicos no solo provocan la pérdida y fragmentación del hábitat, sino que también contribuyen a la degradación de este mediante la introducción de nuevas fuentes de perturbación, tales como luces artificiales, ruido, campos electromagnéticos y sombras parpadeantes. Estos impactos tienen consecuencias negativas sobre diversos grupos taxonómicos, desencadenando efectos en cascada que afectan a otros componentes del ecosistema (Gómez-Catasús, 2023).

Pocos estudios han abordado la pérdida de hábitats para murciélagos como resultado del efecto post-construcción de aerogeneradores. Sin embargo, los efectos detectados son consistentes, incluso en ambientes agrícolas. Los efectos negativos se han observado en varias especies, reflejándose en la ausencia de actividad, debido a la elusión de estas estructuras. Estudios en el norte de Europa, como los realizados por Ellerbrok et al. (2022) y Gaultier et al. (2023), han demostrado que los murciélagos, especialmente aquellos adaptados a volar en hábitats de vegetación densa, son disuadidos por la presencia de aerogeneradores. Estos estudios enfatizan la importancia de reconocer la pérdida de hábitat causada por las turbinas eólicas como un riesgo significativo para los murciélagos.

Sin embargo, otros autores, como Verboom y Limpens (2001), señalan que los efectos directos de la instalación de aerogeneradores en el hábitat de los murciélagos, como la eliminación de árboles y refugios o la alteración o destrucción de áreas de forrajeo, no suelen ser relevantes, ya que estos aerogeneradores generalmente se ubican en áreas abiertas que no cumplen esas funciones. No obstante, en ocasiones se emplean turbinas en paisajes semi-abiertos, como en el norte de Alemania, donde sí se observa una alteración, ya que la vegetación que sirve como área de forrajeo para los murciélagos a veces debe ser removida. Los mismos autores señalan que es más probable que ocurra una perturbación indirecta cuando los aerogeneradores se colocan en rutas de vuelo.

Es importante distinguir entre las rutas de vuelo diarias, que conectan refugios y áreas de forrajeo, y las rutas migratorias entre sus áreas estivales e invernales. Los aerogeneradores pueden actuar como barreras, con consecuencias negativas para la utilización de áreas de alimentación a las que los murciélagos acceden cada noche a través de estas rutas. Sin embargo, se podría considerar también, el efecto barrera como positivo, ya que podría reducir las colisiones de ciertas especies de murciélagos de hábitos de vuelo a baja altura con potenciales colisiones con las aspas.

Entre las perturbaciones descritas se encuentran las balizas rojas (ocupadas en algunos aerogeneradores para la seguridad aeronáutica) y el ruido generado por las turbinas y las aspas, especialmente en especies que han desarrollado el "*gleaning*" o la captura de insectos mediante la escucha de su actividad, reduciendo el potencial de forrajeo de estas. Además, la construcción de aerogeneradores que implica la tala de hileras de árboles y el corte de matorrales provoca cambios en las estructuras del paisaje que permitían a los murciélagos orientarse en el espacio, ya que las hileras de árboles y matorrales son usadas como rutas de vuelo desde sus refugios a sus zonas de forrajeo. Se espera que la mortalidad de las aves sea mayor si la zona elegida para el parque eólico

es rica en vida silvestre o se encuentra en la ruta migratoria de las aves. Las muertes por colisión directa con las aspas del rotor de un aerogenerador, la reubicación o evitación de animales debido al proceso constructivo y el ruido generado por los aerogeneradores, la persistencia de perturbaciones y la pérdida de hábitat provocada por la construcción de parques eólicos y su infraestructura asociada se consideran impactos negativos sobre las aves. Los principales efectos sobre las aves incluyen colisión, desplazamiento por perturbación, efecto barrera y pérdida de hábitat (De Lucas et al., 2008; Leddy et al., 1999).

## 3.3 Clasificación de información de especies e impactos en Chile

Actualmente, los registros de la mortalidad de fauna en parques eólicos, se está llevando a cabo por medio de estudios periódicos de búsqueda de carcasas a nivel del suelo. Estos informes, no estando estandarizados, proporcionan valiosa información sobre la casuística y las estadísticas de las especies afectadas.

### 3.3.1 Mortalidad reportada por proyectos de parque eólicos en Chile

El estudio realizado por Santander *et al*. (en prensa) revisó los informes de monitoreo subidos a la plataforma SNIFA por parte de cada titular de proyecto eólico desde el año 2001 hasta 2023. Estos informes presentan la casuística y las estadísticas de las fatalidades encontradas a nivel del suelo, bajo cada aerogenerador, describiendo el número de fatalidades y las especies identificadas, siempre que la calidad de los restos permitiera su identificación. Cabe destacar que estos informes no están presentados de forma estandarizada, ya que cada parque eólico posee una frecuencia de monitoreo y presentación de resultados distinta, de acuerdo con lo comprometido en sus respectivas RCA.

Sin embargo, las especies de murciélagos presentadas en los registros de mortalidad coinciden en su gran mayoría, encontrando seis especies pertenecientes a dos familias. La familia *Molossidae* incluye a *Tadarida brasiliensis,* mientras que la familia *Vespertilionidae* incluye a *Lasiurus villosissimus, Lasiurus varius, Histiotus magellanicus, Histiotus macrotus* y *Myotis chiloensis*. Entre estos informes se cuentan 1.250 individuos, de los cuales la mayoría pertenece a *Tadarida brasiliensis* con un 57,8%, seguida por *L. villosissimus, L. varius y M. chiloensis*. Los individuos del género *Histiotus* aparecen en menor número (Santander *et al.,* en prensa).

En cuanto a las aves, las especies reportadas con mayor frecuencia pertenecen a los órdenes Passeriformes, Columbiformes y Charadriiformes. Dentro de estos órdenes, las especies más comunes reportadas son el queltehue (*Vanellus chilensis*), la tortolita cuyana (*Columbina picui*), la tórtola común (*Zenaida auriculata*), el chirihue (*Sicalis luteola*) y el platero (*Rhopospina alaudina*).

En el grupo de aves rapaces, uno de los más afectados por los parques eólicos a nivel mundial, se ha registrado la colisión de especies pertenecientes a los tres órdenes presentes en Chile: Accipitriformes, Falconiformes y Cathartiformes. Las especies más comunes corresponden al aguilucho común (*Geranoaetus polyosoma*), águila (*Geranoaetus melanoleucus),* jote de cabeza negra (*Coragyps atratus)* y cernícalo (*Falco sparverius*).

El detalle de las especies reportadas corresponde a 29 proyectos eólicos que han reportado mortalidad hasta julio de 2024 a la Superintendencia del Medio Ambiente (ver Tabla 3).

**Tabla 3.** Especies de aves y murciélagos reportados en colisiones con aerogeneradores de los proyectos revisados

| Orden | Familia | Especie | Nombre común |
|---|---|---|---|
| **Accipitriformes** | *Accipitridae* | *Accipiter chilensis* | Peuquito |
| | | *Circus cinereus* | Vari |
| | | *Elanus leucurus* | Bailarín |
| | | *Geranoaetus melanoleucus* | Águila mora |
| | | *Geranoaetus polyosoma* | Aguilucho |
| | | *Parabuteo unicinctus* | Peuco |
| **Anseriformes** | *Anatidae* | *Anas flavirostris* | Pato jergón chico |
| | | *Anas georgica* | Pato jergón grande |
| **Apodiformes** | *Trochilidae* | *Sephanoides sephaniodes* | Picaflor chico |
| **Cathartiformes** | *Cathartidae* | *Cathartes aura* | Jote de cabeza roja |
| | | *Coragyps atratus* | Jote de cabeza negra |
| | | *Vultur gryphus* | Cóndor |
| **Charadriiformes** | *Charadriidae* | *Oreopholus ruficollis* | Chorlo de campo |
| | | *Vanellus chilensis* | Queltehue |
| | *Laridae* | *Chroicocephalus maculipennis* | Gaviota Cáhuil |
| | | *Larus dominicanus* | Gaviota dominicana |
| | | *Leucophaeus modestus* | Gaviota garuma |
| | | *Leucophaeus pipixcan* | Gaviota de Franklin |
| | *Scolopacidae* | *Gallinago paraguaiae* | Becacina |
| | | *Phalaropus fulicarius* | Pollito de mar rojizo |
| | *Thinocoridae* | *Thinocorus orbignyianus* | Perdicita cojón |
| | | *Thinocorus rumicivorus* | Perdicita cojón |

| Orden | Familia | Especie | Nombre común |
|---|---|---|---|
| **Columbiformes** | *Columbidae* | *Columba livia* | Paloma |
| | | *Columbina picui* | Tortolita cuyana |
| | | *Metriopela aymara* | Tortolita de la puna |
| | | *Metriopelia melanoptera* | Tórtola cordillerana |
| | | *Patagioenas araucana* | Torcaza |
| | | *Zenaida Auriculata* | Tórtola |
| **Falconiformes** | *Falconidae* | *Falco femoralis* | Halcón perdiguero |
| | | *Falco peregrinus* | Halcón peregrino |
| | | *Falco sparverius* | Cernícalo |
| | | *Milvago chimango* | Tiuque |
| **Galliformes** | *Odontophoridae* | *Callipepla californica* | Codorniz |
| **Gruiformes** | *Rallidae* | *Fulica leucoptera* | Tagua |
| **Passeriformes** | *Cotingidae* | *Phytotoma rara* | Rara |
| | *Emberezidae* | *Zonotrichia capensis* | Chincol |
| | *Fringillidae* | *Spinus barbatus* | Jilguero |
| | *Furnariidae* | *Aphrastura spinicauda* | Rayadito |
| | | *Geositta cunicularia* | Minero |
| | | *Leptasthenura aegithaloides* | Tijeral |
| | | *Pseudasthenes humicola* | Canastero |
| | | *Furnareiidae sp.* | Canastero |
| | | *Sylviorthorhynchus desmursii* | Colilarga |
| | | *Upucerthia dumetaria* | Bandurrilla |
| | *Hirundinidae* | *Hirundo rustica* | Golondrina bermeja |
| | *Hyrundinidae* | *Tachycineta leucopyga* | Golondrina chilena |

| Orden | Familia | Especie | Nombre común |
|---|---|---|---|
| **Passeriformes** | *Icteridae* | *Curaeus curaeus* | Tordo |
| | | *Leistes loyca* | Loica |
| | | *Molothrus bonariensis* | Mirlo |
| | *Mimidae* | *Mimus thenca* | Tenca |
| | *Motacillidae* | *Anthus correndera* | Bailarín chico |
| | *Passeridae* | *Passer domesticus* | Gorrión |
| | *Thraupidae* | *Diuca diuca* | Diuca |
| | | *Phrygilus patagonicus* | Cometocino patagónico |
| | | *Rhoposopina alaudina* | Platero |
| | | *Rhoposopina fruticeti* | Yal |
| | | *Sicalis luteola* | Chirihue |
| | | *Sicalis uropygialis* | Chirihue cordillerano |
| | *Troglodytidae* | *Troglodytes aedon* | Chercán |
| | *Turdidae* | *Turdus falcklandii* | Zorzal |
| | *Tyrannidae* | *Agriornis livida* | Mero |
| | | *Anairetes parulus* | Cachudito |
| | | *Colorhamphus parvirostris* | Viudita |
| | | *Elaenia albiceps* | Fíofio |
| | | *Hymenops perspicillatus* | Runrun |
| | | *Muscisaxicola maclovianus* | Dormilona tontita |
| | | *Muscisaxicola maculirostris* | Dormilona chica |
| | | *Muscisaxicola sp* | |
| | | *Pyrope pyrope* | Diucón |

| Orden | Familia | Especie | Nombre común |
|---|---|---|---|
| **Pelecaniformes** | *Ardeidae* | *Bubulcus Ibis* | Garza boyera |
| | | *Egretta thula* | Garza chica |
| | *Threskiornithidae* | *Plegadis chihi* | Cuervo de pantano |
| | | *Theristicus melanopis* | Bandurria |
| **Procellariformes** | *Hydrobatidae* | *Hydrobates hornbyi* | Golondrina de mar de collar |
| | | *Hydrobates markhami* | Golondrina de mar negra |
| | *Oceanitidae* | *Oceanites oceanicus* | Golondrina de mar |
| **Psittaciformes** | *Psittacidae* | *Enicognathus leptorhynchus* | Choroy |
| **Strigiformes** | *Strigidae* | *Bubo magellanicus* | Tucúquere |
| | *Tytonidae* | *Tyto alba* | Lechuza |
| **Suliformes** | *Phalacrocoracidae* | *Phalacrocorax brasilianus* | Yeco |
| **Tinamiformes** | *Tinamidae* | *Nothoprocta perdicaria* | Perdiz |
| **Chiroptera** | *Molossidae* | *Tadarida brasiliensis* | Murciélago de cola libre |
| | *Vespertilionidae* | *Histiotus macrotus* | Murciélago orejón mayor |
| | | *Histiotus magellanicus* | Murciélago orejón del sur |
| | | *Lasiurus varius* | Murciélago colorado |
| | | *Lasiurus villosissimus* | Murciélago ceniciento |
| | | *Myotis chiloensis* | Murciélago oreja de ratón del sur |

*Fuente: Sistema Nacional de Fiscalización Ambiental (SNIFA) de la Superintendencia del Medio Ambiente.*

### 3.3.2 Mortalidad de especies de aves y murciélagos reportada por líneas de transmisión eléctrica en Chile

A partir del estudio elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía (2022a), se obtuvo una lista de 22 proyectos con información reportada a la SMA con respecto a mortalidad de aves en líneas de transmisión, descartando a los murciélagos, ya que, en Chile no se ha reportado mortalidad de este grupo en este tipo de estructuras. De forma complementaria, se realizó también una búsqueda de información en la plataforma SNIFA de los proyectos incluidos en el presente estudio (ver Anexo 2), sin embargo, no se registraron actualizaciones recientes reportada a la plataforma por alguno de los proyectos, por este motivo, la lista de especies corresponde a la misma que en el estudio previo (Santander *et al.,* en prensa) donde sólo 5 proyectos reportaron informes de seguimiento a la SMA, aunque la mayoría tiene comprometidas medidas y planes de seguimiento de mortalidad de aves en algunos tramos del trazado. Un total de 214 individuos pertenecientes a 30 especies han sido identificados, mientras que 6 individuos no pudieron ser identificados a nivel de especie en los reportes (ver Tabla 4). Las especies más frecuentes corresponden al chirihue cordillerano (*Sicalis uropygialis*) y la tortolita de la puna (*Metriopela aymara*), los cuales en conjunto suman un total de 137 individuos. Destacan también el chorlo de campo (*Oreopholus ruficollis*) y la perdicita cojón (*Thinocorus orbignyianus* (Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía, 2022a).

**Tabla 4.** Especies de aves reportadas en colisiones y electrocuciones en Líneas de Transmisión Eléctrica.

| Orden | Familia | Especie | Nombre común |
|---|---|---|---|
| Cathartiformes | *Cathartidae* | *Coragyps atratus* | Jote de cabeza negra |
| Falconiformes | *Falconidae* | *Milvago chimango* | Tiuque |
| Accipitriformes | *Accipitridae* | *Geranoaetus polyosoma* | Aguilucho |
| Strigiformes | *Strigidae* | *Bubo magellanicus* | Tucúquere |
| | | *Asio flammeus* | Nuco |
| Psittaciformes | *Psittacidae* | *Enicognathus ferrugineus* | Cachaña |
| | | *Psilopsiagon aurifrons margaritae* | Perico cordillerano |
| Columbiformes | *Columbidae* | *Patagioaenas araucana* | Torcaza |
| | | *Metriopelia melanoptera* | Tórtola cordillerana |
| | | *Metriopelia aymara* | Tortolita de la puna |
| | | *Zenaida auriculata* | Tórtola |
| Pelecaniformes | *Threskiornithidae* | *Theristicus melanopis* | Bandurria |

| Orden | Familia | Especie | Nombre común |
|---|---|---|---|
| Charadriiformes | *Charadridae* | *Vanellus chilensis* | Queltehue |
| | | *Oreopholus ruficollis* | Chorlo de campo |
| | *Thinocoridae* | *Thinocorus orbignyianus* | Perdicita cojón |
| Podicipediformes | *Podicipedidae* | *Podylimbus podiceps* | Picurio |
| Anseriformes | *Anatidae* | *Anas cyanoptera* | Pato colorado |
| Gruiformes | *Rallidae* | *Fulica rufifrons* | Tagua de frente roja |
| Passeriformes | *Thraupidae* | *Diuca diuca* | Diuca |
| | | *Rhoposopina fruticeti* | Yal |
| | | *Sicalis uropygialis* | Chirihue cordillerano |
| | | *Geospizopsis unicolor* | Pájaro plomo |
| | *Fringillidae* | *Spinus barbatus* | Jilguero |
| | | *Spinus urophygialis* | Jilguero cordillerano |
| | *Passeridae* | *Passer domesticus* | Gorrión |
| | *Turdidae* | *Turdus falcklandii* | Zorzal |
| | *Tyrannidae* | *Elaenia albiceps* | Fiofio |
| | | *Agriornis sp* | Mero |
| | *Furnariidae* | *Asthenes modesta* | Canastero chico |
| | | *Geositta sp* | Minero |

*Fuente: Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía (2022a).*

### 3.3.3 Grupos taxonómicos más vulnerables

En este apartado se revisarán los grupos taxonómicos más vulnerables frente a los impactos generados por los aerogeneradores y las líneas de transmisión eléctrica (LTE). En el caso de los murciélagos, se ha documentado que la mayor mortalidad ocurre en turbinas ubicadas a lo largo de rutas migratorias (Baerwald y Barclay, 2009). Sin embargo, la limitada información disponible sobre el tamaño de sus poblaciones, junto con sus bajas tasas de reproducción, ha generado preocupación sobre la capacidad de los murciélagos para soportar el aumento de mortalidad asociado con los parques eólicos (Kunz *et al*., 2007).

En cuanto a las aves, se ha observado que diversas especies, especialmente aquellas que realizan vuelos de larga distancia o que presentan hábitos planeadores, también enfrentan una elevada mortalidad en instalaciones eólicas. Las colisiones con los aerogeneradores afectan principalmente

a rapaces y otras aves de gran tamaño, dado su comportamiento de vuelo y la dificultad para maniobrar cerca de las turbinas. Estas muertes pueden tener efectos significativos sobre las poblaciones, especialmente en especies amenazadas o con ciclos reproductivos largos y baja fecundidad.

#### 3.3.3.1 Colisión y barotrauma de murciélagos en parques eólicos

A medida que los parques de energía eólica y las líneas de transmisión eléctrica se instalan en diversos paisajes, existe un riesgo potencial de colisión de murciélagos en este tipo de infraestructuras (Ellerbrok *et al*., 2022). Aunque no se comprenden completamente las razones por las que estos animales colisionan con las aspas, algunas hipótesis sugieren que son atraídos por insectos, que a su vez son atraídos por las torres, y que los murciélagos confunden estas estructuras con sitios de descanso o, llamados comúnmente, percha (Cryan & Barclay, 2009; Marqués *et al.,* 2014; Zolotoff-Pallais *et al.,* 2022).

En el contexto chileno, es imposible clasificar las mortalidades de murciélagos como resultado de colisión o por barotrauma, ya que la información disponible en los equipos de monitoreo de mortalidad es limitada o nula en cuanto a la causa de muerte y la edad de los individuos. Generalmente, las muertes por colisión o barotrauma se encuentran en un radio cercano al mástil del aerogenerador, por lo que todas se agrupan en la misma categoría. Muchos informes solo presentan información sobre el sexo y la especie encontrada. Por esta razón, en este segmento, las mortalidades de murciélagos se abordan dentro del grupo de colisiones.

Según los resultados de los informes de monitoreo de mortalidad, se han identificado seis especies de murciélagos, la mayoría pertenecientes a murciélagos catalogados internacionalmente como "open space", es decir, especies que prefieren espacios abiertos para encontrar sus presas (Williams *et al*., 1973). La especie más común es el murciélago de cola libre (*Tadarida brasiliensis*) de la familia *Molossidae*. Esta especie, que posee hábitos gregarios, es el murciélago más numeroso en el territorio nacional, encontrándose comúnmente en cuevas y construcciones humanas. En Chile, se ha encontrado en parques eólicos tanto en el norte como en el centro-sur, debido a que sus hábitos de forrajeo se caracterizan por atrapar insectos voladores en espacios abiertos y a diversas alturas, desde unos pocos metros hasta los 3.000 metros (Williams *et al.,* 1973).

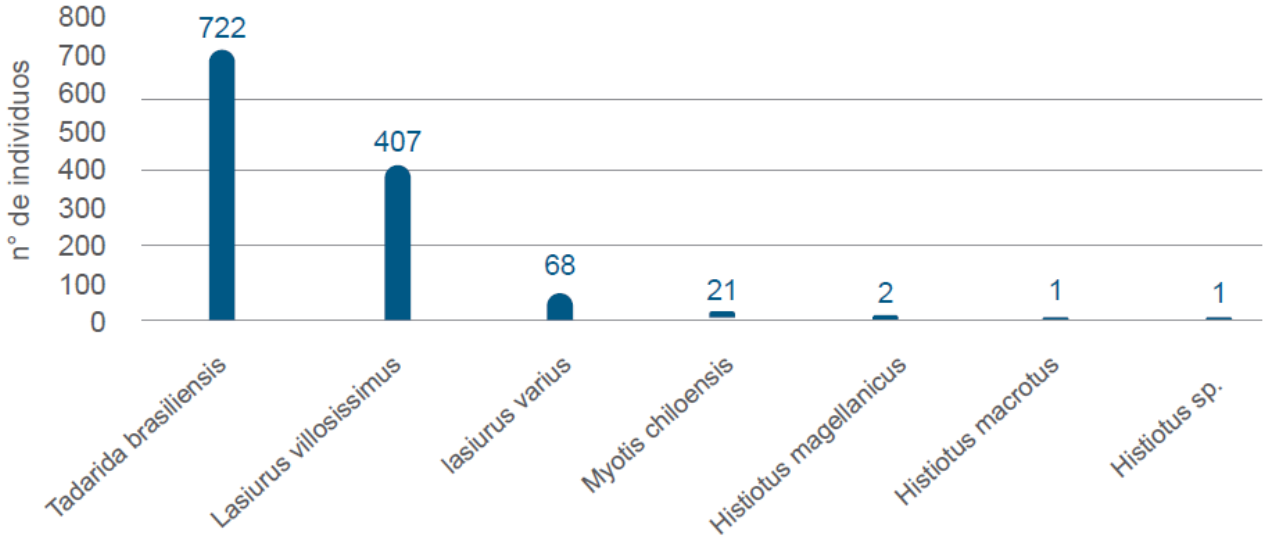
Las otras especies más frecuentes pertenecen a la familia *Vespertilionidae*, incluyendo *Lasiurus villosissimus* y *Lasiurus varius*. Ambas especies poseen hábitos arborícolas para su descanso diurno y su altura de vuelo está principalmente modelada por la altura de las copas de los árboles (Galaz *et al*., 2019). Sin embargo, no hay estudios respecto a la altura de vuelo de estos murciélagos. Es probable que *L. villosissimus*, al ser relativamente más grande que *L. varius*, pueda manejar mejor los vientos dominantes, aumentando así su altura de vuelo y exponiéndose más a colisiones con las aspas de los aerogeneradores.

Dentro de esta misma familia, se encuentra *Myotis chiloensis*, cuyos hábitos de vuelo están más relegados a ambientes de borde de bosque y matorral, donde captura sus presas sobre cuerpos de agua, matorrales y caminos interiores de bosque. La estructura anatómica de esta especie no les permite maniobrar hábilmente en áreas de vientos dominantes, prefiriendo buscar insectos en áreas más resguardadas. Según las estadísticas, se han encontrado 21 carcasas de esta especie en dos parques eólicos (Parque Eólico (PE) Cuel y PE Aurora), ambos situados en la zona centro-sur de Chile con ambientes de pradera, hileras de árboles y matorral.

Finalmente, se encuentra el género *Histiotus* con solo cuatro hallazgos: dos pertenecientes a *H. magellanicus*, un *H. macrotus* y un ejemplar no identificado hasta la especie debido a las condiciones autolíticas. Este género de murciélago, al igual que *Myotis*, forrajea en áreas de

matorral y bordes de bosque, siendo generalmente vistos a alturas no mayores a las copas de los árboles. Los hallazgos de estos murciélagos se encontraron en la zona centro-sur, en los parques Aurora, Malleco y Los Olmos, exceptuando el individuo de *H. macrotus* que fue encontrado en el PE Totoral ubicado en la Región de Coquimbo.

**Figura 5.** Mortalidad y especies de murciélagos colisionados en parques eólicos en Chile




*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.3.2 Colisión de aves en parques eólicos

Como se mencionó anteriormente, la mortalidad de aves y murciélagos debido a colisiones con aerogeneradores o turbinas ha sido consistentemente identificada como una de las principales amenazas ecológicas de la energía eólica (Marques *et al*., 2014; Smallwood and Bell, 2020). Las estimaciones de mortalidad de aves por colisiones con aerogeneradores varían considerablemente: de 1,3 a 38,2 muertes/turbina/año en Estados Unidos (Kunz *et al.,* 2007), 0,8 muertes/turbina/año en Dinamarca (Lubbers, 1988), 0 a 40 muertes/turbina/año en Europa (Kuvlesky *et al.,* 2007; Sovacool, 2009) y de 1,2 a 64,3 muertes/turbina/año en España (Atienza *et al.,* 2011).

El número de aves muertas varía significativamente entre sitios, algunos de los cuales presentan mayores riesgos de colisión que otros, y con ciertas especies siendo más vulnerables (Hull et al., 2013). La colisión de aves ocurre por el contacto directo con las aspas de un aerogenerador en movimiento. Los aerogeneradores modernos pueden elevarse a alturas superiores a los 120 m, con aspas de más de 25 m y rotores que giran a alrededor de 30 rpm, lo que hace que el punto extremo de las aspas pueda alcanzar velocidades de 80 m/s (Meseguer, 2009).

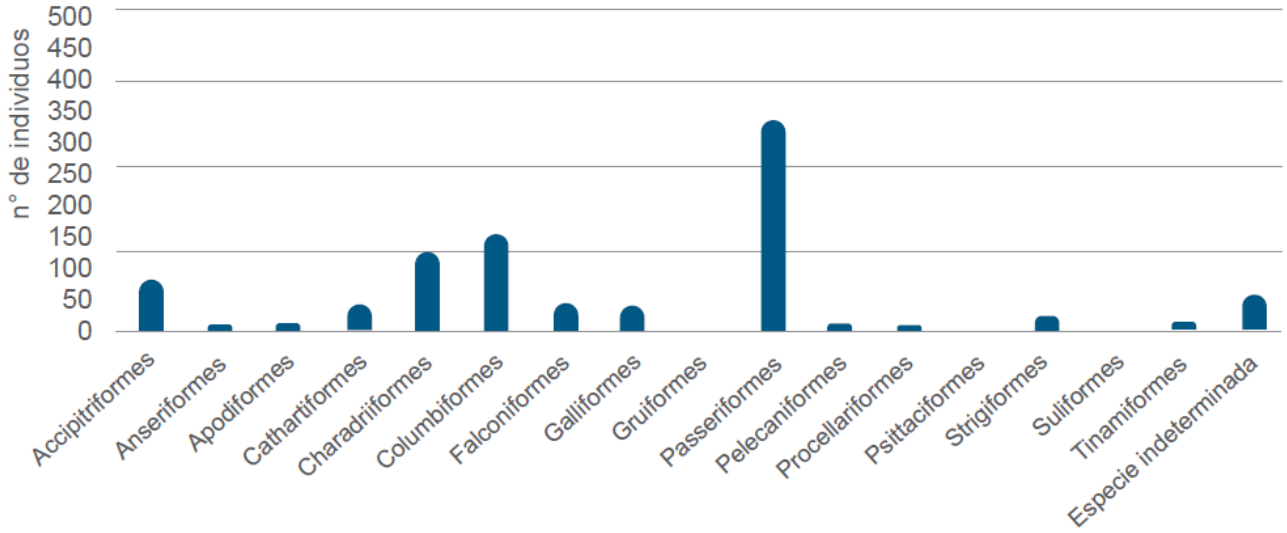
Como se ha señalado a través de este texto, la información sobre los factores que influyen en el riesgo de colisión y mortalidad de aves es escasa y carece de integración. Sin embargo, se han identificado diversos factores que influyen en el riesgo de colisión y mortalidad entre los cuales se pueden nombrar: morfología, percepción sensorial, fenología, comportamiento de forrajeo y reproductivo, o abundancia poblacional del sitio (paisaje, rutas de vuelo, disponibilidad de alimentos y clima) (Langston & Pullan, 2003; Kunz *et al.,* 2007; Atienza *et al.,* 2011) y de las características de los parques eólicos (tipo y configuración de la turbina, y la iluminación) (Kunz *et al.,* 2007; Atienza *et al.,* 2011; Powlesland, 2009).

Los principales factores que inciden en la probabilidad de mortalidad y colisión de las aves con aerogeneradores (Acuña *et al.,* 2016) se presentan en la Tabla 5. Además, los órdenes de aves que más se han registrado en colisiones con aerogeneradores de presentan en la Figura 6.

**Tabla 5.** Principales factores que inciden en la probabilidad de mortalidad y colisión de las aves con los aerogeneradores (Acuña *et al.,* 2016).

| Característica | Factor | Descripción |
|---|---|---|
| Características de las especies (Factores biológicos) | Vuelo poco maniobrable | Las especies de aves con alta carga alar (alto peso por unidad de superficie alar) y baja relación de aspecto (alas cortas y anchas) pueden sobrellevar los vórtices de viento producidos por los extremos de las aspas de los aerogeneradores. Las especies más afectadas pertenecen a los órdenes Anseriformes, Columbiformes, Charadriiformes, Tinamiformes, Piciformes, Pelecaniformes, Gruiformes, Podicipediformes y Passeriformes. |
| | Vuelo nocturno | Las especies de aves que realizan vuelos nocturnos poseen una mayor probabilidad de colisión contra los aerogeneradores, particularmente durante noches de baja visibilidad debido a factores ambientales (Kunz *et al.,* 2007; Atienza *et al.,* 2011; Kerlinger *et al.,* 2010). Algunos autores advierten que, si se aumenta la altura de los aerogeneradores, podría incrementarse la tasa de mortalidad al interceptar la altura de vuelo de las aves que realizan migraciones nocturnas (Kingsley & Whittam, 2007). |
| Características de los parques eólicos (Factores estructurales) | Distribución del parque eólico | La distribución espacial del parque eólico definirá en qué medida actúa como una barrera para el paso de las especies migratorias. Los proyectos con una estructura lineal tienen una mayor probabilidad de generar colisiones en comparación con aquellos dispuestos en grupos (US Fish & Wildlife Service, 2012; Meseguer, 2009). |
| | Ubicación de los aerogeneradores | La ubicación de las turbinas dentro de un parque es fundamental, ya que no todos los aerogeneradores presentan la misma peligrosidad. Algunos en particular concentran la mayor parte de la mortalidad ocasionada por un parque eólico (Langston & Pullan, 2003; Ferrer *et al.,* 2012). Por ejemplo, en España se estudió la mortalidad de *Gyps fulvus* en 13 parques eólicos, demostrando que las diez turbinas más peligrosas se encontraban distribuidas en solo seis de los 13 parques estudiados (De Lucas *et al.,* 2012). La información sobre el tránsito de aves en un lugar puede ayudar a decidir la ubicación de los parques. Características como el relieve pueden aumentar la mortalidad en parques eólicos, especialmente aquellos situados en crestas, valles, pendientes pronunciadas, cerca de cañones, penínsulas y estrechos (Kingsley & Whittam, 2007; Atienza *et al.,* 2011). |
| Características del sitio (Factores ambientales) | Sitios con alta concentración de aves | La existencia de grandes concentraciones de individuos (dormideros, lugares de forrajeo, descanso, reproducción, etc.) cerca de un parque eólico aumenta la probabilidad de colisión, especialmente si el parque se encuentra entre dos áreas con movimientos de poblaciones (Atienza *et al.,* 2011; Morrison *et al.,* 2009). El listado de IBAs es una herramienta útil para evaluar lugares con alta concentración de aves (Soazo *et al.,* 2009). |
| | Presencia de ganado y especies presa | La presencia de ganado en el parque eólico actúa como un atractivo para aves carroñeras. Además, la presencia de especies presas como conejos y liebres aumenta el riesgo de colisión de aves rapaces nocturnas y diurnas (Thelander & Smallwood, 2009). |
| | Condiciones meteorológicas adversas | Aquellos lugares con malas condiciones climatológicas dificultan la visibilidad o maniobrabilidad de las aves (lluvia, nieve, neblina, etc.), poseen una mayor probabilidad de colisión (Kingsley & Whittam 2007). |

**Figura 6.** Órdenes de aves que mayormente colisionan en parques eólicos en Chile




*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.3.3 Colisión y electrocución de aves en líneas de transmisión eléctrica

El tendido eléctrico no sólo causa daños por electrocución, sino también por colisiones de aves con estas estructuras (Bevanger 1998; Janss 2000; APLIC 2012). Además, el campo electromagnético generado por el tendido eléctrico puede afectar a las aves (Tryjanowski *et al.,* 2014), afectando su conducta, éxito reproductivo, desarrollo y fisiología (Fernie and Reynolds 2005). El efecto de los tendidos eléctricos sobre las poblaciones de aves ha sido estudiado desde 1970 (APLIC 2006; Lehman *et al.,* 2007).

La presencia de tendidos eléctricos de transmisión puede causar varios tipos de impactos negativos en las poblaciones de aves silvestres a nivel mundial (Martins *et al.,* 2023). Específicamente en las líneas de transmisión (≥ 66 kV), la electrocución de aves es rara debido a las grandes distancias entre las estructuras de las torres utilizadas como perchas y los cables energizados (en oposición a la evidencia de las líneas de distribución [< 66 kV]; Loss *et al.,* 2014). Sin embargo, la mortalidad de aves en vuelo debido a la colisión con los cables es un impacto relevante (Bernardino *et al.,* 2018; Jenkins e*t al.,* 2010). Las especies más vulnerables a la colisión tienden a ser "malas voladoras" (debido a su cuerpo pesado y/o baja maniobrabilidad; Bevanger, 1998), a menudo especialistas de hábitat con comportamientos peligrosos, especialmente en términos de altura de vuelo y comportamiento de formación de bandadas) y/o especies con un estado de conservación desfavorable (debido a su sensibilidad incluso a pequeños incrementos en las tasas de mortalidad; D'Amico *et al.,* 2019). En algunas circunstancias, esta combinación de factores de riesgo puede llevar a altas tasas de mortalidad por colisión con cables, con el potencial de causar efectos demográficos significativos, es decir, impactos a nivel poblacional (Martins *et al.,* 2023). En Chile los grupos más afectados por estas estructuras son los: Accipitriformes, Cathartiformes y Columbiformes.

#### 3.3.3.4 Otros impactos de las líneas de transmisión

Aunque se considera mucho menos en la literatura que la mortalidad por colisión, un impacto directo de las líneas de transmisión también puede causar impactos indirectos en las aves. De hecho, la construcción de nuevas líneas conlleva la pérdida o degradación de hábitat, particularmente en áreas boscosas, debido a la limpieza y mantenimiento de la vegetación en los derechos de paso (por ejemplo, Askins *et al.,* 2012; Rich *et al*., 1994). Además, la presencia de líneas de transmisión y torres también puede causar el desplazamiento de aves (también conocido como evitación), es decir, una reducción en su abundancia o uso de hábitats adecuados) cercanos a la infraestructura. Este efecto ha sido reportado para algunas especies sensibles que se encuentran en hábitats de vegetación baja (por ejemplo, Gibson *et al.,* 2018; Pruett *et al.,* 2009; Silva *et al.,* 2010), donde la instalación de líneas de transmisión no implica cambios significativos en el uso del suelo, sugiriendo por lo tanto que tal comportamiento proviene de la estructura misma (o de los riesgos percibidos asociados) en lugar de la eliminación de hábitat. Además, las poblaciones de aves pueden sufrir pérdidas parciales de conectividad cuando la infraestructura constituye una barrera aérea para los movimientos de vuelo entre áreas divididas por la línea de alta tensión (LTE), en adelante, 'efecto barrera' (Raab *et al.,* 2011).

## 3.4 Metodología de evaluación de impactos ambientales

El objetivo de la evaluación de impacto ambiental es comparar la situación original del área de estudio con la situación resultante después del establecimiento del proyecto. El literal f) del artículo 18 de Reglamento del SEIA establece que la evaluación de impacto ambiental “(...) consistirá en la determinación de si los impactos predichos constituyen impactos significativos en base a los criterios del artículo 11 de la Ley 19300.”

Aunque los impactos de proyectos de transmisión eléctrica y generación eólica están bien documentados, no existe una metodología única de evaluación; cada proyecto debe ser evaluado individualmente considerando sus características específicas y las del área donde se ubicará.

Una evaluación válida, independiente de la zona geográfica que se encuentre, debe basarse en la recolección representativa de información, la cual debe ser suficiente y de calidad en el área de influencia. Esta debe incluir: riqueza y abundancia de especies presentes, distribución, rutas de vuelo, áreas de concentración, presencia y cercanía a humedales, cuerpos de agua, y elementos del paisaje, entre otros. Esta información debe ser representativa de las diferentes estaciones del año, horas del día y de la noche, y de los diversos ambientes presentes en el área de estudio. Actualmente existen guías que proporcionan lineamientos generales y específicos para esta recolección de información en parques eólicos y líneas de transmisión eléctrica (SAG, 2015; SEA, 2022; SEA,2023).

Los impactos ambientales dependen de varios factores relacionados con la fauna silvestre, y se recomienda que sean evaluados por expertos desde un enfoque interdisciplinario, considerando los componentes aditivos o multiplicativos que pueden desencadenar dichos impactos. Según artículo 6 del D.S N°40, Reglamento del SEIA, un proyecto genera efecto adverso significativo sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables sí afecta su permanencia, se altera la capacidad de regeneración o renovación del recurso, o bien se alteran las condiciones que hacen posible la presencia y desarrollo de las especies y ecosistemas. Los criterios de evaluación de impacto significativo sobre la fauna silvestre incluyen: valor ambiental de las especies; sensibilidad del área; magnitud del impacto; y el valor ambiental del componente.

### 3.4.1 Valor ambiental de las especies (criterio de evaluación)

Este lineamiento considera la presencia y abundancia de especies en estado de conservación, o la existencia de un plan de recuperación, conservación y gestión de dichas especies, de conformidad a lo señalado en el artículo 37 de la Ley Nº19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Así mismo, el inciso 2° del artículo 6° del Reglamento del SEIA, expresamente indica que debe "ponerse especial énfasis en aquellos recursos propios del país que sean escasos, únicos o representativos". Entonces debe considerarse que un efecto adverso sobre la cantidad y calidad de un recurso natural renovable puede ser significativo si se impacta un recurso propio del país que sea escaso, único o representativo (SEA, 2022).

Para la identificación de especies clasificadas en categorías de conservación se debe considerar en primer lugar los procesos de clasificación de especies silvestres según el Reglamento de Clasificación de Especies Silvestres (RCE) (D.S. N°75/2004) y sus procesos oficializados a través de los D.S. N° 151/2007 MINSEGPRES, DS N° 50/2008 MINSEGPRES, D.S. N° 51/2008 MINSEGPRES, D.S. Nº23/2009 MINSEGPRES, D.S. Nº 33/2011 MMA, D.S. Nº 41/2011 MMA, D.S. Nº 42/2011 MMA, D.S. Nº 19/2012 MMA, D.S. Nº 13/2013 MMA, D.S. N°52/2014 MMA y D.S. N°38/2015 MMA, D.S. 16/16, 2016 MMA; D.S. 06/17, 2017 MMA; D.S. 79/18, 2018 MMA; D.S. 16/2020 MMA; D.S. 44/2021 MMA; D.S. 10/2023 MMA; D.S 2/2024 MMA respectivamente. En segundo lugar, el Reglamento de la Ley de Caza y su modificación (Ley Nº19.473/1996 MINAGRI, D.S. N°5/1998 MINAGRI y D.S N° 65/2015 MMA).

Las categorías de conservación vigentes en Chile, homologadas a las de la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza, son: Extinta (EX), Extinta en Estado Silvestre (EW), En Peligro Crítico (CR), En Peligro (EN), Vulnerable (VU), Casi amenazado (NT), Preocupación Menor (LC) y Datos Insuficientes (DD).

Si bien todas las anteriores corresponden a categorías de conservación, cabe mencionar que son de particular interés aquellas que reflejan una categoría de amenaza, las cuales pueden resumirse en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Categorías de amenaza de acuerdo con la clasificación utilizada

| Categoría | Nomenclatura | Normativa |
|---|---|---|
| En Peligro de Extinción | EP | 1° al 4° proceso del RCE |
| En Peligro Crítico | CR | 5° al 10° proceso del RCE |
| En Peligro | EN | 5° al 10° proceso del RCE |
| Vulnerable | VU | 1° al 10° proceso del RCE |

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.2 Evaluación de la sensibilidad del área

Se debe estudiar la probabilidad de colisión de las aves y murciélagos, principalmente mediante su densidad. Algunos criterios por considerar para determinar la sensibilidad del área son: presencia de colonias o dormideros de aves y que la zona se encuentre entre dos áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación o humedales protegidos. Otro aspecto importante de este lineamiento es estudiar la **localización del proyecto**, se debe evaluar si dentro del área de

influencia existen áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos de acuerdo con el Reglamento del SEIA.

En síntesis:

- Presencia de grandes concentraciones de aves.
- Presencia de refugios de murciélagos.
- Corredores migratorios o de desplazamiento de aves.
- Que la zona se encuentra dividiendo dos zonas húmedas o forestales.
- Presencia de especies amenazadas (aves o murciélagos).

### 3.4.3 Magnitud del impacto

Se refiere al grado de alteración o modificación de una actividad sobre el entorno, el cual se evalúa de acuerdo con la cantidad y calidad de los recursos impactados. La evaluación del impacto ambiental consiste en la comparación de la situación con proyecto y sin él, y se basa en la valoración de la magnitud del impacto y del factor ambiental impactado, en este caso, las aves silvestres. Si bien esta metodología es utilizada actualmente, está sujeta a una serie de ajustes en la valorización de sus atributos, por lo que se debe considerar caso a caso para cada proyecto presentado a evaluación.

La magnitud (Ma) corresponde a la importancia relativa que tiene un impacto en relación con otro, el cual se explica por la interacción de múltiples variables. Por lo general, la evaluación de la magnitud de impacto se expresa de forma similar a la presentada en la siguiente ecuación (Conesa, 1995):

$$\boldsymbol{Ma = Ca \times P \times \left(\frac{Int + Ex + Rev + Du + S + VA}{6}\right)}$$

Donde:

**Ma**: magnitud del impacto
**Ca**: carácter del impacto
**P**: probabilidad de ocurrencia
**I**: intensidad
**Ex**: extensión
**Rev**: reversibilidad
**Du**: duración
**S**: sinergia.
**VA**: Valor ambiental

**Carácter**: refleja si el cambio con el proyecto es positivo, neutro o negativo. Para los proyectos de energía eólica y transmisión eléctrica debiera ser valorado como negativo.

**Probabilidad:** los factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de un impacto son aquellos presentados previamente para cada impacto dentro de los grupos de factores: biológicos, estructurales y propios del sitio. En un mismo proyecto, los factores estructurales y propios del sitio son comunes a las distintas especies. Sin embargo, los factores biológicos son específicos para cada especie evaluada. De acuerdo con lo anterior, la probabilidad de ocurrencia de un impacto en

particular estará compuesta por un componente intrínseco de cada especie (como la morfología alar, comportamiento y habilidad de vuelo de cada especie) y un componente común a todas las especies (como características de las estructuras del proyecto y del área de emplazamiento).

**Extensión**: se refiere al área de influencia (AI) para el componente fauna del proyecto.

**Duración**: la totalidad de la vida útil del proyecto.

**Sinergia:** la acción sinérgica se produce cuando el efecto de dos o más causas es mayor que la suma de sus efectos individuales, de acuerdo con el Reglamento del SEIA, artículo 18: "Para la evaluación de impactos sinérgicos se deberán considerar los proyectos o actividades que cuenten con calificación ambiental vigente de acuerdo a lo indicado en el literal e11 anterior."

**Evaluación de efecto sinérgico**: para este caso, es importante evaluar el impacto sinérgico considerando los proyectos existentes, con RCA vigente o proyectos por someterse al SEIA que se encuentran en el entorno cercano al proyecto. Según el artículo "Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en las aves y murciélagos" se propone como mínimo 10-15 km como distancia de referencia.

**Valor Ambiental del componente** (VA): corresponde al grado de relevancia ambiental del componente afectado por el impacto en el área de influencia del proyecto diferenciando para cada clase taxonómica y/o especie, considerando diversas variables como son:

- Morfología de las aves: características anatómicas que las hace susceptibles a colisión
- Cantidad de fauna: número de individuos de una especie que podría ser afectada.
- Biodiversidad: diversidad biológica y capacidad de regeneración en el área de influencia.
- Singularidad de la especie: valoración de recursos únicos o representativos del país.
- Superficie por intervenir: cantidad de superficie con fauna silvestre que será afectada y el impacto generado en esa zona.
- Valor ambiental del territorio: considera la pérdida de fauna por degradación del hábitat, cuantificando la superficie afectada y el estado inicial del ecosistema.
- Localización del proyecto: se evalúa el impacto significativo si el área de influencia incluye áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos y glaciares.
- Fragmentación del hábitat: se analiza si el proyecto afecta la integridad del ecosistema y la conectividad de las especies con otros hábitats.

Estos criterios ayudan a determinar el impacto de los proyectos en la fauna silvestre y proporcionan una base para su evaluación ambiental, considerando los rangos Baja (sin singularidades), Moderado (baja relevancia) y Alto (alta fragilidad).

### 3.4.4 Impacto potencial

Los parques eólicos se han asociado con impactos negativos en las poblaciones de murciélagos, principalmente debido a las muertes de murciélagos resultantes de colisiones con las aspas de las turbinas eólicas o por barotrauma (Pereira *et al., 2017*). Estudios han demostrado que los murciélagos son atraídos por las turbinas eólicas, posiblemente debido a factores como la emisión de ultrasonidos por las turbinas y el aumento de la disponibilidad de presas (Lintott *et al.,* 2016). Sin embargo, Fernández *et al.,* (en prensa) encontraron que no existía atracción de murciélagos al ultrasonido emitido por las turbinas de los aerogeneradores en el parque eólico Renaico, Región de

la Araucanía. Sin embargo, las altas tasas de mortalidad de murciélagos en las turbinas eólicas son preocupantes, especialmente considerando su baja tasa de reproducción y el potencial de las turbinas eólicas para actuar como trampas ecológicas (Goldenberg *et al*., 2021).

En términos generales, el impacto de los parques eólicos en los murciélagos es un problema multifactorial que involucra mortalidad directa, posibles interrupciones del ecosistema y contaminación ambiental. Además, de un pobre conocimiento de la historia natural de las especies locales como por ejemplo hábitos y rutas migratorias, podría resultar en una pérdida permanente de biodiversidad. La investigación ha indicado que las turbinas eólicas pueden causar no solo la mortalidad directa de murciélagos, sino también pérdidas a gran escala de interacciones tróficas, lo que sugiere impactos más amplios en el ecosistema más allá de solo las poblaciones de murciélagos (Scholz & Voigt, 2022).

Los esfuerzos para mitigar el impacto de los parques eólicos en los murciélagos se han centrado en la efectividad de la restricción operativa al reducir muertes de murciélagos, con resultados que disminuyen significativamente las tasas de mortalidad con la restricción de las turbinas (Adams *et al*., 2021). También se ha demostrado que, modificando la velocidad de las turbinas, reduce la mortalidad de murciélagos en instalaciones de energía eólica, cambios relativamente pequeños para la industria que resultan en reducciones sustanciales en las muertes de murciélagos (Arnett *et al.,* 2010).

La mortalidad aviar debido a colisiones con las aspas en movimiento es un impacto adverso bien conocido de los parques eólicos, con estudios que indican que esto es una preocupación significativa (Lucas *et al.,* 2012). La ubicación de parques eólicos en áreas inapropiadas puede tener efectos perjudiciales en las especies de aves, lo que destaca la importancia de la selección del sitio (Krimowa, s.f.). Los parques eólicos representan una nueva fuente de impacto y perturbación para las aves, sumándose a la lista existente de perturbaciones inducidas por el ser humano (Farfán *et al.,* 2009).

Diversos estudios han demostrado que los parques eólicos pueden amenazar seriamente a especies de aves sensibles, muchas de las cuales son de preocupación para la conservación, enfatizando la necesidad de considerar cuidadosamente sus impactos ambientales (Carrete *et al.,* 2013). Los efectos de los parques eólicos en las poblaciones de aves pueden variar dependiendo de la especie, la ubicación y los tiempos de operación, siendo esencial un monitoreo a largo plazo para comprender completamente los impactos (Carrete *et al.,* 2009). El impacto de los parques eólicos en las aves con hábitos de vuelo como el planeo, es altamente variable y está influenciado por factores como la ubicación geográfica, la altura de vuelo de estas aves y los cambios climáticos (Liang, 2023).

### 3.4.5 Ajustes de diseño de proyectos

La recopilación de información primaria sobre la fauna voladora en el área de estudio de un parque eólico se realiza mediante metodologías directas, indirectas, activas o pasivas, complementadas con fuentes secundarias como publicaciones científicas y revisiones bibliográficas. Esta información debe ser suficiente y adecuada para realizar una evaluación precisa de impactos, permitiendo descartar efectos, características o circunstancias (ECC) del artículo 11 de la Ley N°19.300 en una DIA, o determinar medidas de mitigación, reparación o compensación en un EIA. Algunos grupos taxonómicos, como los murciélagos y ciertas aves, requieren metodologías y esfuerzos de muestreo específicos debido a factores como migración, hibernación o estrategias reproductivas. Por ejemplo, las golondrinas de mar del norte, con comportamientos reproductivos específicos y variados, necesitan metodologías y tiempos de trabajo particulares para su adecuado registro (SEA, 2022 y 2024). Esta información es crucial para influir en el rediseño de un parque eólico o LTE si hay

conflictos de diseño con la fauna local o si se pone en peligro la existencia de estas especies en su ambiente natural.

Un buen ejemplo es lo indicado para receptores humanos en la “Guía para la Aplicación del DS N° 38, de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, que señala la norma de emisión de ruidos generados por fuentes indicadas para proyectos de parques eólicos en el SEIA” (SEA, 2020), donde incorpora la variable de ruido en el diseño inicial de un proyecto eólico, lo cual puede ser beneficioso para su operación. Por tanto, un mapa de ruido generado en una etapa previa a la evaluación ambiental ayuda a definir adecuadamente el área de estudio. Mientras que una justificación, delimitación y descripción correcta del área de influencia, junto con una adecuada predicción y evaluación de impactos ambientales, permite que el parque eólico cumpla con la legislación ambiental y proteja a las comunidades cercanas. Esta guía señala que, internacionalmente, se recomienda una distancia mínima de 500 metros entre viviendas y aerogeneradores para controlar el ruido, aunque algunos países adoptan distancias mayores, de hasta 2 kilómetros, para proteger la calidad acústica.

Actualmente, en Chile existen proyectos eólicos emplazados en plantaciones forestales y cercanos a hileras de árboles que son utilizadas por murciélagos en sus rutas de vuelo. Sin embargo, a nivel internacional existen lineamientos claros para la instalación de parques eólicos que exigen mantener una distancia mínima de 200 metros de bosques o plantaciones forestales, con el objetivo de crear una zona de amortiguamiento y no influir negativamente en la fauna local, especialmente en los murciélagos (Rodrigues, *et al*., 2015).

Para mejorar la protección de la fauna local, sería recomendable que Chile adopte estos lineamientos internacionales, incorporando distancias de seguridad adecuadas, considerando las necesidades específicas de las especies afectadas, por ejemplo, ruido para fauna en las áreas de influencia.

### 3.4.6 Estudio de rutas de vuelo

El desarrollo de la energía eólica tiene implicancias significativas en las rutas de vuelo y el comportamiento de las especies voladoras. Diversos estudios han demostrado que el tamaño y la altura de las turbinas eólicas influyen en las tasas de mortalidad de murciélagos y aves (Barclay *et al*., 2007). Además, la presencia de turbinas eólicas puede provocar la pérdida de hábitat para los murciélagos, afectando sus patrones de vuelo y comportamiento (Barré *et al*., 2018). Los murciélagos, especialmente las especies arborícolas, son altamente susceptibles a las colisiones con las turbinas eólicas, lo que impacta sus rutas migratorias, tanto en proyectos terrestres como en los situados en alta mar (offshore) (True *et al*., 2023).

Estudios realizados por Cryan *et al*. (2007) coinciden en que, en los Estados Unidos, la mayoría de las especies afectadas por parques eólicos son especies arborícolas, produciéndose una gran mortalidad durante el período de migración otoñal. Baerwald *et al*. (2009) reafirman estos hallazgos, demostrando que las rutas de migración están condicionadas por la disponibilidad y distribución de sitios adecuados para perchar y descansar, como árboles asociados a referencias geográficas, tales como ríos y montañas. Datos recopilados en Europa y los Estados Unidos indican que la mayoría de las especies afectadas por los aerogeneradores son murciélagos migratorios que cazan a gran altura en áreas abiertas. La mayor incidencia de mortalidad ocurre durante la migración otoñal. En Europa, las especies más afectadas incluyen el murciélago ratonero (*Nyctalus noctula*) y el murciélago hortelano (*Pipistrellus nathusii*), que son relativamente comunes, así como el murciélago de bosque (*Barbastella barbastellus*), una especie en peligro crítico (Limpens *et al*., 2007).

En cuanto a las aves, las condiciones del viento juegan un papel crucial en la configuración de sus patrones de migración y rutas de vuelo. Especies como el pelícano blanco americano (*Pelecanus*

*erythrorhynchos*) optimizan sus rutas migratorias en función de las condiciones estacionales del viento para mejorar la eficiencia de su vuelo (Illán *et al*., 2017). Las aves migratorias tienden a seleccionar altitudes de vuelo que minimizan el gasto energético aprovechando los vientos de cola, laterales y las corrientes ascendentes durante sus viajes (Altshuler *et al*., 2015).

Estos datos resaltan la importancia de estudiar las rutas de migración para proteger y minimizar la mortalidad de aves y murciélagos causada por parques eólicos. Esto se debe principalmente a que estos animales utilizan las condiciones dominantes del viento para reducir el costo energético, lo que generalmente coincide con los emplazamientos de los proyectos energéticos. Además, los murciélagos requieren puntos de referencia y descanso durante sus viajes estacionales, lo que sugiere que las torres eólicas podrían ser erróneamente asociadas con sitios potenciales de descanso y forrajeo.

## 3.5 Criterios para evaluar la significancia de impactos

Dado el creciente desarrollo de la energía eólica y tendidos eléctricos para la transmisión de electricidad, es fundamental establecer directrices que permitan al proceso de evaluación de impacto ambiental alcanzar sus objetivos, siendo en términos generales, verificar que el proyecto cumpla con la normativa ambiental vigente. En el caso de una DIA es verificar que no se generan impactos significativos, mientras que en un EIA es verificar que el titular se haga cargo de dichos impactos implementando medidas de mitigación, reparación o compensación. Por tanto, en este capítulo se presentan las metodologías destinadas a identificar, evaluar, y supervisar los efectos adversos que los parques eólicos y líneas de transmisión eléctrica generan en la avifauna y murciélagos.

En este sentido, en la primera sección se abordarán los criterios que son relevantes para el diagnóstico de los impactos por proyectos eólicos o de transmisión eléctrica que puede generarse en aves y murciélagos, mientras que con posterioridad se abordarán índices, que permiten identificar los niveles de riesgo de los distintos tipos de especies de aves y murciélagos, que permiten complementar los criterios.

En el caso de la segunda sección de este capítulo, se identifican criterios para la evaluación de impactos ambientales considerando aspectos de países europeos y de Chile, esto último a través de talleres con servicios públicos, gremios de las industrias y academia, con el fin de obtener experiencias comparadas.

### 3.5.1 Recopilación de criterios de evaluación

#### 3.5.1.1 Bases de datos y otras fuentes de información

Se revisaron las directrices internacionales y la normativa nacional chilena que proponen criterios de significancia al evaluar un proyecto eólico o de líneas de transmisión eléctrica. En primer lugar, se analizaron los lineamientos propuestos por la Unión Europea, que establecen una reglamentación general en que cada país miembro adapta y adopta en sus políticas internas a partir de su ordenamiento territorial ocupando las zonas descritas a continuación, previo a la destinación de los sitios donde se pueden emplazar los proyectos (definición de zonas de riesgos).

Posteriormente, se seleccionaron dos países miembros de la Unión Europea que están a la vanguardia en este ámbito, tanto por su importancia geográfica como zonas de paso de aves y murciélagos, como por sus avanzadas regulaciones para proyectos eólicos en tierra (*onshore*) y en el mar (*offshore*). Finalmente, se revisaron los criterios que actualmente se utilizan en Chile para la evaluación de estos proyectos.

### a) Unión Europea

Existe un fuerte consenso en que la ubicación seleccionada para un parque eólico o una línea de transmisión eléctrica (LTE) es crucial para determinar la probabilidad de impactos adversos sobre la vida silvestre. Los parques eólicos y LTE deben ser ubicados, diseñados y gestionados de manera que no tengan impactos adversos significativos en la vida silvestre que se encuentre en categoría de conservación a nivel nacional e internacional, ni en sus hábitats. Por lo tanto, se debe evitar precautoriamente la ubicación de parques eólicos en las siguientes áreas:

- Zonas de Especial Protección de Aves (ZEPA): es una categoría de área protegida catalogada por los Estados miembros de la Unión Europea como zonas naturales de singular relevancia para la conservación de avifauna amenazada de extinción, según la Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo (Directiva de aves).
- Zonas Especiales de Conservación (ZEC): busca asegurar la supervivencia a largo plazo de las especies y los hábitats más amenazados de Europa según la Directiva 92/43/CCE del consejo (Directiva de Hábitats).
- Áreas Importantes para las Aves y la Biodiversidad (IBA): es un espacio declarado por la BirdLife Internacional que no es una figura de protección oficial, sin embargo, es una herramienta reconocida internacionalmente para la conservación de la flora y fauna.
- Sitios a lo largo de rutas migratorias principales y especialmente cuellos de botella migratorios donde se concentran grandes cantidades de aves o murciélagos, por ejemplo, pasos de montaña.
- Hábitats donde se sabe que los parques eólicos y LTE presentan altos riesgos de colisión para las aves (evaluados mediante una evaluación de riesgos específica del sitio). Por ejemplo, los humedales y crestas montañosas son ubicaciones sensibles para las aves y bosques, tanto nativos como plantaciones, son áreas críticas para los murciélagos (Langhout, 2016; Rodrigues *et al*., 2015)

En este sentido, la Unión Europea exige evitar los impactos adversos sobre la vida silvestre mediante una evaluación completa de alternativas adecuadas, una ubicación y diseño apropiados, definido a una planificación efectiva, donde es necesario identificar especies y áreas de particular sensibilidad, y mapear ubicaciones potenciales e inadecuadas para el desarrollo de energía eólica basándose en sitios prioritarios para la conservación de la naturaleza, como los cuellos de botella migratorios y, posteriormente, a un mapa de riesgo de colisión por especie. Como parte de esto, puede requerir la recopilación de información adicional donde el impacto de la infraestructura acompañante, como cables, caminos y actividades de mantenimiento, debe incluirse en estas consideraciones (Langhout, 2015; Rodrigues *et al*., 2015).

En Europa, los gobiernos nacionales, regionales y locales deben realizar Evaluaciones Ambientales Estratégicas (EAE) de todos los planes y programas de energía eólica y LTE que tengan el potencial de producir efectos ambientales significativos. Esta evaluación es un procedimiento que analiza los posibles efectos ambientales de planes y programas que puedan tener un impacto significativo en el entorno. Su objetivo es integrar consideraciones ambientales en la fase de planificación para promover el desarrollo sostenible. Incluye etapas como la definición de alcance, la preparación de informes ambientales, consulta pública, toma de decisiones y monitoreo. La EAE se aplica a sectores como uso del suelo, energía y transporte, ayudando a identificar alternativas más sostenibles. Además, las Evaluaciones Apropiadas (EA), son un proceso exigido por la Directiva de

Hábitats de la UE[7] para evaluar si un plan o proyecto podría tener efectos significativos en sitios protegidos, como los de la red Natura 2000[8]. Si existe la posibilidad de impacto, se realiza una EA para garantizar que la integridad del sitio no sea comprometida. Solo se aprueba un plan si no afecta negativamente al sitio, salvo excepciones específicas según el Artículo 6. Las EAE/EA se deben realizar desde la primera etapa del desarrollo del proyecto y ser un proceso iterativo que continúe a lo largo de todas sus fases. Si hay posibles efectos transfronterizos, se debe buscar la cooperación internacional con otros gobiernos. A su vez, se debe determinar la escala considerando la escala biológica probable y deben utilizarse para informar la selección estratégica de sitios para la generación de energía renovable e identificar los requisitos de información para las EIA/EA individuales (Langhout, 2015).

Específicamente, estas EAE/EA deben incluir un mapeo indicativo de sensibilidad de las poblaciones de aves y murciélagos, sus hábitats, rutas de vuelo, cuellos de botella migratorios y una evaluación de los efectos probables del plan/programa sobre estos para ayudar en la toma de decisiones. Dicho mapa de sensibilidad debe identificar ubicaciones potencialmente sensibles conocidas, ubicaciones que no se consideran que tengan implicaciones adversas para la vida silvestre y ubicaciones para las que se necesita más información para determinar si el desarrollo de proyectos en estas áreas es compatible con las prioridades de conservación de la biodiversidad. Se deben tener en cuenta todas las etapas del ciclo de vida y los hábitats como ubicaciones que apoyan funciones esenciales (incluyendo alimentación, reproducción, muda, descanso y no reproducción, incluidas las paradas migratorias). En este sentido, los mapas de sensibilidad deben actualizarse regularmente y deben ser financiados y promovidos por los gobiernos nacionales, regionales o locales (Langhout, 2015).

En este contexto, todos los desarrollos deben ser examinados para determinar si es probable que produzcan efectos ambientales significativos, aplicando criterios de selección adecuados. Se deben realizar Estudios de Impacto Ambiental (EIA) exhaustivos para todos los desarrollos de proyectos propuestos, incluida la infraestructura asociada (por ejemplo, líneas eléctricas, caminos de acceso en tierra).

Si se propone un parque eólico con posibles impactos en un sitio Natura 2000 o IBA, se debe realizar una evaluación apropiada (o equivalente donde no se aplique la legislación de la UE) de acuerdo con los requisitos del Artículo 6 de la Directiva de Hábitats y el Artículo 4 modificado de la Directiva de Aves, si es probable que el desarrollo tenga un efecto significativo en los objetivos y la integridad de conservación del sitio. Para las IBA que los Estados miembros no hayan designado hasta ahora como ZEP, solo se aplican las disposiciones más estrictas del Artículo 4 de la Directiva de Aves (Langhout, 2015).

En todas estas evaluaciones (EAE, EIA y Evaluaciones Apropiadas), los impactos acumulativos del plan, programa o proyecto en cuestión deben evaluarse en combinación con otros planes, programas y proyectos en el área (tanto para parques eólicos aprobados y construidos como para otros desarrollos) a fin de tener en cuenta los efectos combinados y acumulativos de los proyectos existentes y propuestos (Langhout, 2015).

Si se detectan impactos acumulativos en las especies de aves con una categoría de conservación de amenaza, a pesar de que todas las evaluaciones se hayan llevado a cabo correctamente, la planificación de futuros proyectos de energía debe estar directamente vinculada al estado de conservación de las especies. Esto implica que la planificación de proyectos sólo puede continuar

[7] Evaluaciones apropiadas [en línea] https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/natura-2000/managing-and-protecting-natura-2000-sites_en

[8] Natura 2000 es una red ecológica europea de áreas de conservación de la biodiversidad.

en estas áreas si el estado de conservación no se deteriora. Para ello, la planificación futura debe ir acompañada de programas de protección específicos para cada especie, llevados a cabo por los gobiernos nacionales o regionales y financiados por los futuros proponentes de proyectos, utilizando otras medidas que permitan restablecer las poblaciones a un estado de conservación favorable. Este programa debe incluir medidas de protección que reduzcan los impactos que los aerogeneradores tienen sobre las especies (Langhout, 2015).

Todas estas evaluaciones deben llevarse a cabo con un alto estándar profesional y de manera científicamente sólida, aprovechando la experiencia relevante. Para garantizar la independencia de los expertos técnicos que realicen las EIA/EA, este trabajo debe ser contratado preferentemente por la autoridad competente en lugar del proponente del proyecto. La autoridad competente debe cargar los costos a los proponentes del proyecto. En caso de que esto no sea posible, las EIA/EA, al menos, deben ser examinadas por expertos técnicos independientes y las EIA/EA solo pueden ser adoptadas después de su opinión positiva. Las ONG de conservación (por ejemplo, socios nacionales de BirdLife) deben ser informadas y consultadas sobre cada plan/programa y deben ser informadas sobre cada proyecto desde una etapa temprana para garantizar los mejores resultados posibles, tanto para el desarrollo de energía renovable como para la conservación de la naturaleza (Langhout, 2015).

A continuación, se describen los casos específicos de países pertenecientes a la Unión Europea.

**b) España**

La legislación española exige que, durante el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), se consideren diversas alternativas de localización y diseño para proyectos eólicos y LTE. Específicamente, se deben evaluar al menos tres alternativas viables de localización, donde todos los criterios técnicos deben estar relacionados con el impacto sobre aves y murciélagos (Atienza *et al*., 2012).

El análisis previo de las ubicaciones propuestas es crucial para prever y mitigar los efectos negativos sobre la avifauna. Un primer análisis de la sensibilidad de la zona y de las infraestructuras asociadas permite determinar el nivel de afectación del proyecto, facilitando así la selección de alternativas más adecuadas. Este análisis no solo reduce el impacto ambiental, sino que también agiliza el proceso de evaluación y autorización, ya que los proyectos con mayores complicaciones ambientales suelen enfrentar procedimientos más largos y con mayor riesgo de no ser autorizados.

La probabilidad de que un aerogenerador o una LTE cause mortalidad de aves depende de la densidad de las especies presentes y su probabilidad de colisionar con las aspas, influenciada por factores como la altura de vuelo, el conocimiento del lugar y la atracción hacia las construcciones humanas. Por lo tanto, deben evitarse áreas con altas densidades de aves, especialmente si son especies sensibles a colisiones, amenazadas o catalogadas. El impacto de un parque eólico también se relaciona con el número de aerogeneradores, lo que resalta la importancia del tamaño del parque en su impacto ambiental. Algo similar ocurre en una LTE, en donde el impacto se puede relacionar con la longitud total del trazado y las áreas por las que cruce (Atienza *et al*., 2012).

Variables como la densidad y susceptibilidad de aves y murciélagos, junto con su estado de conservación, permiten clasificar el potencial impacto de un proyecto en una zona determinada. La identificación y consideración de estos criterios son esenciales para la toma de decisiones informada y sostenible en la planificación de los proyectos. En este sentido a continuación en la tabla 7 se identifican criterios españoles con más detalle donde, si se cumple uno solo de los criterios, representa de forma automática la magnitud de la sensibilidad ambiental.

**Tabla 7.** Criterios españoles para establecer la sensibilidad de las áreas en las que potencialmente se podría ubicar un parque eólico

| Sensibilidad potencial | Criterios |
|---|---|
| Muy alta | Que en la zona haya presencia de especies de aves o murciélagos catalogadas como Vulnerables, Sensibles a la Alteración de su Hábitat o en Peligro de Extinción en el Catálogo Estatal (o regional) de Especies amenazadas. |
| | Que en la zona haya presencia de especies de aves o murciélagos catalogadas como En Peligro de Extinción o en peligro crítico en el Libro Rojo |
| | Que en la zona se hayan declarado áreas críticas o sensibles de especies de aves o murciélagos en sus correspondientes Planes de recuperación, conservación o manejo. |
| | Que la zona presente a menos de 5 km grandes colonias o dormideros de aves (ardeidas, larolimícolas, aves marinas, rapaces, etc.) |
| | Que la zona presente a menos de 15 km grandes colonias o dormideros de grandes rapaces. |
| | Que la zona presente a menos de 5 km refugios importantes de murciélagos. |
| | Que la zona esté designada como ZEPA, LIC (con presencia de murciélagos) o IBA. |
| | Que la zona se encuentre entre dos ZEPA, LIC (con presencia de murciélagos) o IBA y a menos de 15 km de ambas. |
| | Que la zona tenga grandes concentraciones de aves acuáticas. |
| | Que se trate de un corredor para la migración de aves o murciélagos. |
| | Que la zona presente altas densidades de rapaces. |
| | Que la zona presente al menos una cuadrícula de importancia para las aves muy alta (Atienza et al. 2004). |
| Alta | Que la zona se encuentre dividiendo dos zonas húmedas o zonas forestales. |
| | Que la zona presente a menos de 5 km pequeñas colonias o dormideros de aves (ardeidas, larolimícolas, aves marinas, rapaces etc.) |
| | Que la zona haya presencia de especies de aves o murciélagos catalogadas como Vulnerables en el Libro Rojo |
| | Que la zona presente a menos de 15 km pequeñas colonias o dormideros de grandes rapaces. |
| | Que a menos de 10 km exista una zona designada como ZEPA, LIC (con presencia de murciélagos) o IBA. |
| Media | Que la zona esté reconocida como un área de importancia regional o local para las aves. |
| Baja | Si la zona no cumple ninguno de los condicionantes anteriores. |

*Fuente: Atienza et al., (2012).*

A su vez, en España, a través de las metodologías disponibles el año 2012, se realizó una ponderación de criterios sobre el tamaño de un parque en base al número de aerogeneradores y su potencial para determinar su impacto potencial sobre aves y murciélagos, tal como se identifica en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Criterios españoles para valorar el tamaño de un parque y potencial impacto sobre aves y murciélagos

| | Número de aerogeneradores | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Potencia** | | 1-9 | 10-25 | 26-50 | 51-75 | >75 |
| | <10 MW | Pequeño | Medio | | | |
| | 10-50 MW | Medio | Medio | Grande | | |
| | 50-75 MW | | Grande | Grande | Grande | |
| | 75-100 MW | | Grande | Muy Grande | Muy Grande | |
| | >100 MW | | Muy Grande | Muy Grande | Muy Grande | Muy Grande |

*Fuente: (Atienza et al., 2012).*

El impacto potencial de un proyecto en una zona concreta se determina con el valor de sensibilidad y el tamaño del proyecto de las tablas anteriores. Por lo que solo se puede considerar como un proyecto viable las que tengan un impacto potencial medio a bajo, como se muestra en la tabla 9:

**Tabla 9.** Impacto potencial de un proyecto en una zona concreta

| | Tamaño | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Sensibilidad | | Muy grande | Grande | Medio | Pequeño |
| | Muy alta | Muy Alto | Muy Alto | Alto | Alto |
| | Sensibilidad Alta | Muy Alto | Alto | Medio | Medio |
| | Media | Alto | Medio | Medio | Bajo |
| | Baja | Medio | Medio | Bajo | Bajo |

*Fuente: (Atienza et al., 2012).*

### c) Países Bajos

Los Países Bajos, junto con Alemania, han sido de los países que más han trabajado en directrices y regulaciones para minimizar el impacto de la energía eólica en la fauna (ver Tabla 10). Además, han suscrito el tratado de la Convención de Bonn (Convención sobre la Conservación de Especies Migratorias de Animales Silvestres), que obliga a los Estados miembros a tomar medidas adecuadas para la protección de las especies de murciélagos incluidas en el Anexo II de dicha convención. Estas medidas incluyen la protección activa de los murciélagos, la prohibición de capturarlos y

matarlos, la preservación de sus hábitats importantes, la promoción de la responsabilidad profesional, la sensibilización pública, la prevención del uso de pesticidas peligrosos y productos tóxicos para la madera, así como el fomento de la investigación. Asimismo, la protección debe contar con una base legal sólida, sustentada en la implementación de la Directiva de Hábitats de la Unión Europea a través de la Ley de Flora y Fauna de los Países Bajos *(Flora en Fauna wet* en neerlandés).

**Tabla 10.** Directrices y regulaciones de Países Bajos para minimizar el impacto de la energía eólica en la fauna.

| Actividad | Explicación |
|---|---|
| Determinar hábitats y elementos del paisaje en el área de planificación y sus alrededores | Basado en un mapa de hábitat o una visita de campo exploratoria, se identifican los tipos de terreno y elementos del paisaje presentes en y alrededor del área de planificación. |
| Determinar factores de riesgo | • Elementos del paisaje preferentes por murciélagos<br>• Áreas de riesgo<br>• Lugares de refugio |
| Identificación de posibles funciones de uso por especie | Posibles funciones de uso:<br>• Ruta migratoria<br>• Ruta de vuelo<br>• Área de forrajeo<br>• Lugar de maternidad para murciélagos<br>• Refugio de verano<br>• Lugar de apareamiento (agrupado)<br>• Refugio de invierno<br>• Registrar las posibles funciones de uso de ambiente por especie en una tabla. |

*Fuente: Limpens et al., (2007).*

Durante el período de pre-construcción, deben incluirse explícitamente los siguientes factores dentro del diseño de riesgo del estudio:

- **Áreas de riesgo**

  El estudio pre-construcción debe centrarse específicamente en aquellas áreas que son utilizadas como rutas migratorias, rutas de vuelo o áreas de forrajeo por las especies objetivo. La migración, se refiere a la migración estacional entre áreas de verano e invierno. Las rutas de vuelo abarcan los movimientos entre los refugios y las áreas de forrajeo. Las áreas o regiones con una mayor probabilidad de víctimas de colisión entre murciélagos son la zona costera, ríos, deltas, lagos, pantanos y bosques (Limpens *et al.*, 2007).

- **Lugares de refugio**

  En las inmediaciones de los lugares de refugio, como refugios de maternidad, refugios de verano, refugios masivos de invierno y lugares de apareamiento, existe una mayor actividad de murciélagos y un mayor riesgo de colisiones. Esto incluye tanto las áreas de forrajeo de estas colonias como las rutas de vuelo hacia y desde los refugios. Por lo tanto, cualquier refugio de las especies objetivo presente en el área de planificación debe ser mapeado dentro del área de planificación más una zona de buffer de 3 a 5 kilómetros (Esta distancia se mide desde los bordes del parque eólico). También deben mapearse las rutas de vuelo locales desde los refugios hacia las áreas de forrajeo (de Grijs, 2018).

  Dentro de los ámbitos que deben presentarse en un estudio de impacto ambiental se encuentran:

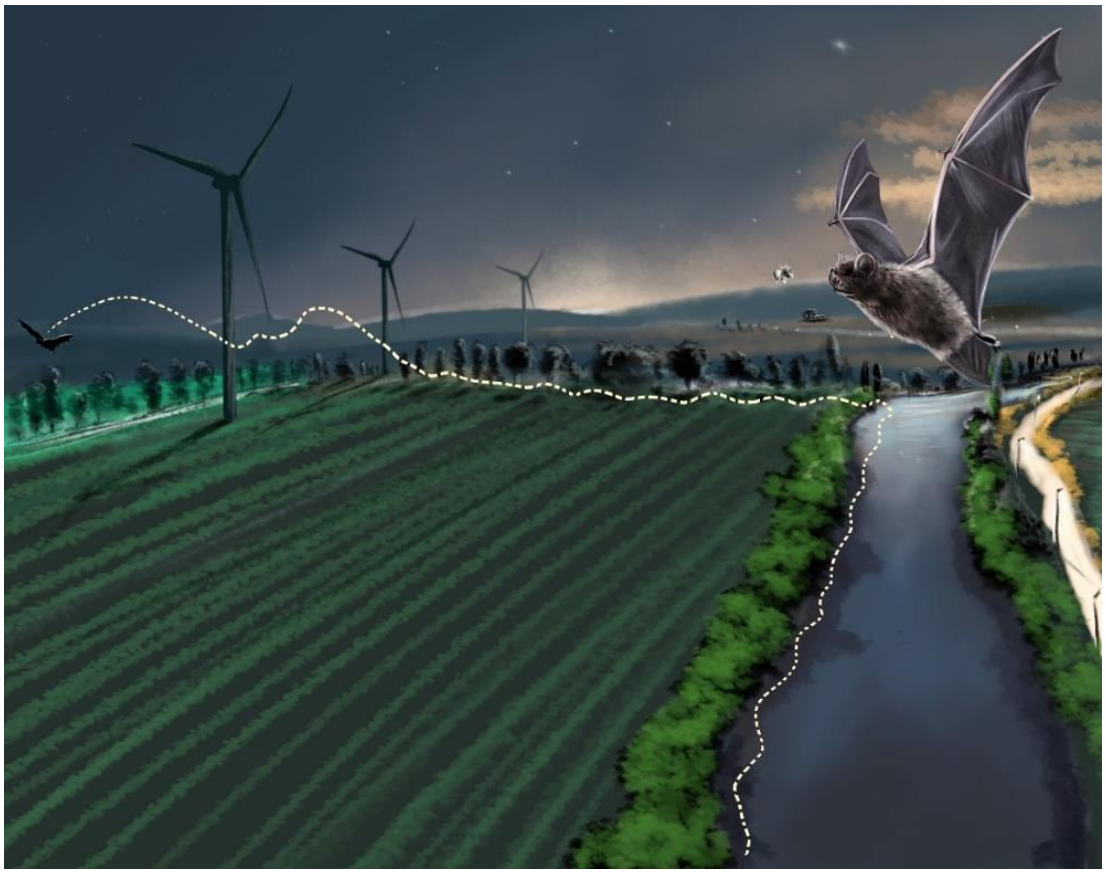
  - Descripción del Parque Eólico: descripción del proyecto del parque eólico, incluyendo las fases de implementación, entre otros aspectos.
  - Métodos, Diseño y Justificación del Estudio: detalle de los métodos utilizados, el diseño del estudio y la justificación de la investigación realizada.
  - Descripción de los Resultados de Campo: presentación de los resultados obtenidos durante el trabajo de campo.
  - Interpretación por Especie de las Funciones de uso y la importancia del área de planificación para cada especie: análisis de las funciones de uso para cada especie y la relevancia del área de planificación para estas.
  - Evaluación de los efectos por función de uso y por especie en las diferentes fases del proyecto: evaluación de los efectos sobre cada función de uso por especie durante las fases de construcción, operación y desmantelamiento del parque eólico.
  - Necesidad y eficacia de las medidas de mitigación: análisis de la necesidad y efectividad de las medidas de mitigación propuestas.
  - Efectos acumulativos: evaluación de los efectos acumulativos del proyecto en conjunto con otras actividades o proyectos en la misma área.

- **Elementos del paisaje**

  Ciertos elementos del paisaje pueden ser preferidos por los murciélagos, lo que resulta en una mayor actividad de estos y, por ende, un mayor riesgo de colisión con una turbina eólica (ver Figura 7). Estos elementos incluyen:

  - Formaciones lineales de árboles y arbustos (avenidas, setos, cercas vivas, entre otras)
  - Diques (diques marítimos, interiores, y a lo largo de ríos y canales, etc.)
  - Zanjones y canales con vegetación ribereña alta.
  - Charcas, estanques y lagos.
  - Matorrales.

**Figura 7.** Elementos del paisaje que los murciélagos utilizan como rutas de vuelo



*Fuente: Elaboración propia*

Además de la descripción antes señalada, es necesario evaluar adecuadamente los impactos de los parques eólicos sobre las especies, es crucial contar con una sólida base de datos que incluya información sobre la ecología y demografía de las especies afectadas, como tasas de reproducción, mortalidad natural y patrones migratorios, etc. Estos datos permiten interpretar las tasas de mortalidad observadas y determinar si superan umbrales críticos como, por ejemplo: la norma de mortalidad del 1%, norma que es utilizada en este país y responde a una aceptación de la mortalidad por colisión no superior al 1% de la tasa de mortalidad natural de cada especie (de Grijs, 2018).

“La norma de mortalidad del 1% es una primera indicación para excluir efectos a nivel de población. Esto significa que, incluso con tasas de mortalidad más altas, es posible que no haya un efecto en el estado de conservación sostenible de la población. En ese caso, se necesitan datos adicionales sobre reproducción, mortalidad, etc. La norma de mortalidad del 1% también se aplica en relación con los murciélagos.” (Kleyheeg-Hartman, Boonman & Krijgsveld, 2017).

**d) Chile**

Como criterios de evaluación de impacto significativo sobre el componente fauna silvestre, se consideran según la información proporcionada en la “Guía para la evaluación del impacto ambiental de proyectos eólicos y de líneas de transmisión eléctrica en aves silvestres y murciélagos” publicada por el Servicio Agrícola y Ganadero el año 2015. En esta guía se mencionan los siguientes criterios de evaluación de impactos significativo sobre fauna silvestre, se debe considerar:

- **Cantidad de fauna**

  Este criterio de evaluación se refiere a la riqueza y abundancia de individuos susceptibles de ser afectados por el proyecto.

- **Biodiversidad**

  La diversidad biológica presente en el área de influencia del proyecto o actividad, y su capacidad de regeneración.

- **Singularidad de la especie**

  Este criterio valora los recursos que son propios del país, únicos o representativos.

- **Estado de conservación de la especie**

  Este criterio considera la presencia y abundancia de especies en estado de conservación, o la existencia de un plan de recuperación, conservación y gestión de dichas especies, de conformidad a lo señalado en el artículo 37 de la Ley Nº19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Se consideran especies en estado de conservación las nombradas en los listados nacionales de especies amenazadas, en base a las siguientes normativas:

  - Listados nacionales oficializados por decretos publicados según el procedimiento señalado en el Decreto Supremo N°29 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente que aprueba el Reglamento para Clasificación de Especies Silvestres RCE.
  - Decreto Supremo N°05 de 1998 y sus modificaciones, Reglamento de la Ley de Caza, en caso de especies que no han sido clasificadas por el Decreto Supremo N°29.

- **Superficie por intervenir**

  Este criterio se refiere a la cantidad de superficie (con fauna silvestre) intervenida, explotada, alterada o manejada, y el impacto generado en esa zona.

- **Valor ambiental del territorio a intervenir**

  Este criterio considera la pérdida de fauna por degradación de su hábitat. Para su estimación se recomienda cuantificar la superficie impactada y considerar el estado inicial del ecosistema. Se considera que un territorio cuenta con valor ambiental, si posee nula o baja intervención antrópica y provee de servicios ecosistémicos locales relevantes para la población, o cuyos ecosistemas o formaciones naturales presentan características de unicidad, escasez o representatividad.

- **Localización del proyecto**

  Se considerará que el proyecto genera impacto significativo, si dentro de su área de influencia se encuentran áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos y/o glaciares de acuerdo con el Reglamento del SEIA. De acuerdo con el Reglamento del SEIA, los humedales protegidos son “aquellos ecosistemas acuáticos incluidos en la Lista (Sitios RAMSAR) a que se refiere la Convención Relativa a las Zonas Húmedas de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de las Aves Acuáticas, promulgada mediante Decreto Supremo N°771, de 1981, del Ministerio de Relaciones Exteriores”.

- **Fragmentación del hábitat**

  Dentro de la evaluación se recomienda considerar si la ubicación del proyecto afecta la integridad del ecosistema y la conectividad de las especies presentes dentro del área de influencia con otros hábitats similares.

- **Duración del impacto**

  En ambas tipologías de proyecto, líneas de transmisión eléctricas y parques eólicos, el impacto sobre el componente fauna silvestre sería a lo largo de toda la vida útil del proyecto, por lo que la duración sería permanente o de largo plazo.

- **Magnitud del impacto**

  Se refiere al grado de destrucción de una actividad sobre el entorno, la cual se evalúa de acuerdo con la cantidad y calidad de los recursos impactados. La evaluación del impacto ambiental consiste en la comparación de la situación con proyecto y sin él, y se basa en la valoración de la magnitud del impacto y del factor ambiental impactado, en este caso, la fauna silvestre.

## 3.6 Método de factores ponderados para índices

El uso de factores ponderados es fundamental para comprender y priorizar los riesgos asociados. Estos factores, que, incluyen la vulnerabilidad específica de las especies, cómo, por ejemplo: las características del hábitat, los hábitos de vuelo, las características poblacionales entre otras permiten una valoración precisa de los posibles efectos adversos. Al ponderar estos elementos, se facilita la identificación de áreas críticas de riesgo y se optimizan las estrategias de mitigación, asegurando que las decisiones de gestión ambiental estén basadas en datos objetivos y en la minimización efectiva del daño a la biodiversidad (Mace *et al.,* 2008; Master *et al.,* 2012). Existen varios ejemplos en la literatura los cuales utilizan escalas de valores ponderados de 1 a 5 para evaluar la vulnerabilidad o el riesgo de especies, principalmente en estudios de ecología y conservación que buscan cuantificar y clasificar amenazas específicas (Desholm & Kahlert, 2005; Erickson *et al.,* 2005; González *et al.,* 2007; Lehman *et al.,* 2007). A continuación, se presenta un ejemplo de cómo se podría aplicar este método.

### Definición de los factores ponderados.

Se asigna un peso a cada criterio según su importancia relativa. La suma de los pesos debe ser 100%. Estos pesos reflejan la importancia de cada criterio en la evaluación del riesgo de mortalidad en las aves. Ejemplo de ponderaciones:

- Tipo de vuelo: 20%.
- Altura de vuelo: 25%.
- Maniobrabilidad: 15%.
- Estacionalidad: 10%.
- Tamaño poblacional: 10%.
- Estado de conservación: 10%.
- Capacidad reproductiva: 10%.

### Asignar Puntuaciones a las Especies.

Se asigna una puntuación (del 1 al 5) a cada especie de ave según cada criterio. A continuación, se presenta un ejemplo con algunos grupos de especies.

**Tabla 11.** Ejemplo de aplicación del método de factores ponderados

| Tipos de aves | Tipo de vuelo (20%) | Altura de vuelo (25%) | Maniobrabilidad (15%) | Estacionalidad (10%) | Tamaño poblacional (10%) | Estado de conservación (10%) | Capacidad reproductiva (10%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Águilas y halcones | 5 | 5 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 |
| Gansos y patos | 3 | 3 | 2 | 5 | 4 | 2 | 4 |
| Gaviotas | 3 | 2 | 4 | 3 | 5 | 2 | 4 |
| Chorlos | 4 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 |
| Búhos y lechuzas | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 |

*Fuente: Elaboración propia.*

Para calcular la puntuación total ponderada para cada especie, se multiplica la puntuación de cada criterio por su peso y se suman los resultados.

$$\boldsymbol{PT = (PTC_1 \times PSC_1) + (PTC_2 \times PSC_2) + (PTC_3 \times PSC_3) + \cdots + (PTC_7 \times PSC_7)}$$

Donde:

**PT:** Puntuación total.
**PTCn:** Puntuación del criterio n.
**PSCn:** Peso del criterio n.

Ejemplo para Águilas y Halcones:

- Tipo de vuelo: 5 * 0.20 = 1.00
- Altura de vuelo: 5 * 0.25 = 1.25
- Maniobrabilidad: 3 * 0.15 = 0.45
- Estacionalidad: 4 * 0.10 = 0.40
- Tamaño poblacional: 3 * 0.10 = 0.30
- Estado de conservación: 4 * 0.10 = 0.40
- Capacidad reproductiva: 3 * 0.10 = 0.30

**Total Ponderado** = 1.00 + 1.25 + 0.45 + 0.40 + 0.30 + 0.40 + 0.30 = **4.10.**

Este valor implica un Alto Riesgo según los criterios del método de factores ponderados.

Algunos ejemplos para otros grupos de especies repitiendo el cálculo de factores ponderados serían los siguientes:

- Búhos y Lechuzas: 3.5 - Riesgo moderado.
- Chorlos: 3.4 - Riesgo moderado.
- Gaviotas: 3.2 - Riesgo moderado.
- Gansos y Patos: 3.1 - Riesgo más bajo, pero aún significativo.

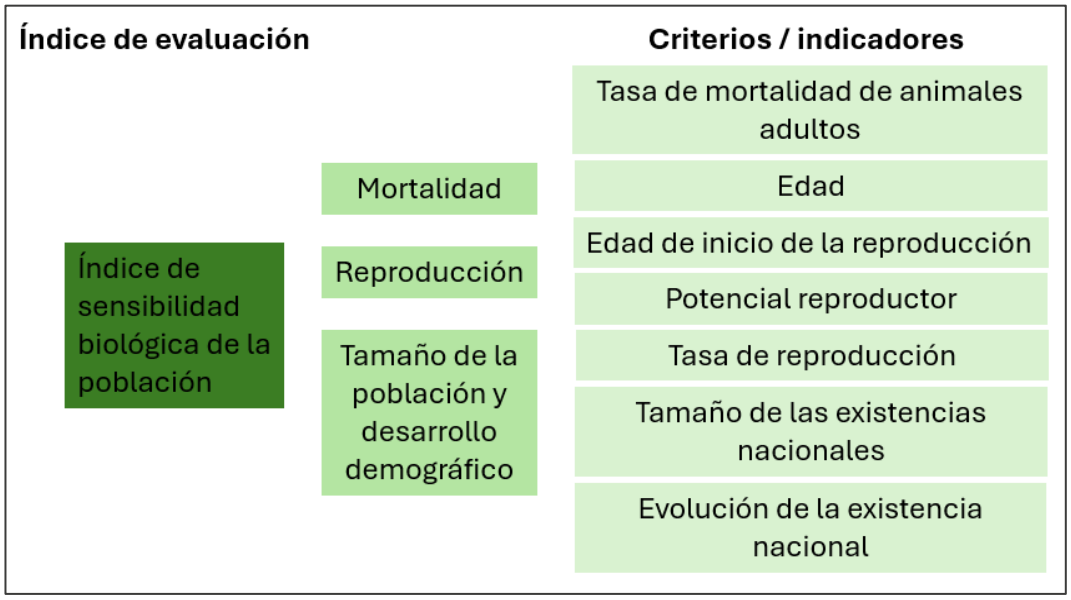
## 3.7 Propuesta de herramientas o métodos de evaluación

Los índices de riesgo para la fauna voladora son herramientas cuantitativas diseñadas para evaluar y medir la vulnerabilidad de especies a diversas amenazas, como la colisión con infraestructuras humanas (aerogeneradores, líneas eléctricas, etc.). Estos índices combinan factores biológicos, como la sensibilidad poblacional y el estado de conservación de las especies, con los riesgos específicos asociados a cada tipo de infraestructura. Su principal objetivo es orientar la toma de decisiones en proyectos de desarrollo, asegurando que se minimicen los impactos negativos sobre la biodiversidad.

### 3.7.1 Índice de Peligro de Mortalidad (MGI)

El Índice de Peligro de Mortalidad (MGI, por sus siglas en alemán *Mortalitäts-GefährdungsIndex*) es una herramienta desarrollada para evaluar los riesgos de mortalidad de la fauna silvestre en proyectos de infraestructura, con el fin de minimizar las pérdidas significativas desde una perspectiva de conservación. El proceso comienza clasificando las especies mediante **el sub Índice de Sensibilidad Biológica Poblacional** (ISP por sus siglas en alemán *Populationsbiologischem Sensitivitäts-Index*), que integra parámetros como tasa de mortalidad, edad reproductiva y tamaño poblacional. A este se suma el **Índice de Valor de Conservación** (NWI por sus siglas en alemán *Naturschutzfachlichem WertIndex*), que refleja el estado de conservación de la especie, formando finalmente el MGI, que proporciona una medida final del riesgo de mortalidad.

**Figura 8.** Criterios evaluados en el índice MGI




*Fuente: Bernotat, D. & Dierschke, V. (2021)*

El objetivo de este índice es identificar y minimizar los riesgos de mortalidad relevantes para la conservación de la biodiversidad, asegurando que las pérdidas de individuos no comprometan significativamente el estado de las poblaciones afectadas (ver Figura 8).

Las especies con un riesgo de mortalidad muy alto y alto (clases I y II del MGI, ver Tabla 14) tienen una tolerancia muy baja a la pérdida de individuos debido a tasas de mortalidad y reproducción naturales relativamente bajas, longevidad relativa, tamaños de población pequeños, peligro de extinción generalmente alto, estado de conservación desfavorable, etc. En este grupo se encuentran las especies con estrategias K, los cuales corresponden a especies de gran talla o larga expectativa de vida, y una baja tasa de reproducción, los cuales a menudo requieren cuidado parental extensivo hasta que llegan a la madurez. En estas especies, figuran grandes aves como águilas, cigüeñas, avutardas y urogallos, así como grandes mamíferos depredadores como linces, gatos monteses, marsopas y focas grises, pero también el murciélago grande de herradura y el murciélago chico de herradura. En cambio, las especies con un riesgo de mortalidad entre moderado y muy bajo (clases IV a VI del MGI) son relativamente robustas frente a las pérdidas individuales de individuos relacionadas con alguna actividad antrópica, debido a sus tasas de mortalidad y reproducción naturalmente elevadas, a su temprana edad de madurez sexual, a sus grandes tamaños poblacionales y a su estado de conservación favorable o a la ausencia de una amenaza general, por lo que su umbral de tolerancia o de importancia es más elevado. En esta primera fase del cálculo de índice las categorías van de 1 a 9 (ver Tabla 12).

**Tabla 12.** Ejemplo de puntuación de potencial reproductor para el índice MGI

| Clase | Potencial reproductor | Explicación |
|---|---|---|
| 1 | ≤1,0 huevo o juvenil/año | Muy poca descendencia posible |
| 2 | 1,1-2,0 huevos o juveniles/año | |
| 3 | 2,1-3,0 huevos o juveniles/año | |
| 4 | 3,1-5,0 huevos o juveniles/año | |
| 5 | 5,1-10,0 huevos o juveniles/año | |
| 6 | 11-100 huevos o juveniles/año | |
| 7 | 101-1.000 huevos o juveniles/año | |
| 8 | 1001-10.000 huevos o juveniles/año | |
| 9 | 10.000 huevos o juveniles/año | Mucha descendencia posible |

*Fuente: Bernotat, D. & Dierschke, V. (2021)*

En el segundo módulo, se utiliza el **Índice de Riesgo de Mortalidad** específico del tipo de proyecto (MGI) para abordar el hecho de que el riesgo de colisión/muerte específica del tipo de proyecto de una especie debe tenerse siempre en cuenta en las evaluaciones de conservación de la naturaleza. En el caso de las aves, por ejemplo, el riesgo de muerte por aerogeneradores, líneas eléctricas aéreas y carreteras difiere significativamente. El milano real, por ejemplo, tiene un riesgo "muy alto" de morir por colisión con aerogeneradores o electrocutado en tendidos eléctricos de media tensión, pero sólo un riesgo "medio" de colisión con el tráfico y un riesgo "muy bajo" de colisión con tendidos

eléctricos. Los riesgos de colisión para los murciélagos también varían mucho, por ejemplo, entre los aerogeneradores y las carreteras, ya que las especies que cazan en ambientes abiertos tienen un riesgo "muy alto" de colisión con los aerogeneradores, pero en general sólo tienen un riesgo "bajo" de colisión con las carreteras, y viceversa. Esta evaluación del riesgo de colisión específico de cada especie se basa en el conocimiento de la biología y el comportamiento de las distintas especies (por ejemplo, comportamiento de vuelo, maniobrabilidad, movilidad, altitud de vuelo, velocidad de locomoción, tamaño corporal, envergadura o visión).

A la hora de interpretar las estadísticas de mortalidad disponibles para los distintos tipos de proyectos, es importante tener en cuenta que las cifras de mortalidad deben interpretarse siempre en el contexto de la abundancia de la especie. Por este motivo, los hallazgos de mortalidad en Alemania se evaluaron de forma normalizada utilizando tablas de escalado específicas para cada tipo de proyecto con respecto a la abundancia general de la especie. A continuación, este riesgo de mortalidad específico del tipo de proyecto es catalogado en 5 clases.

**Tabla 13.** Ejemplo de puntuación de categoría de conservación según la lista Roja de Alemania

| Clase | En peligro según Lista Roja de Alemania |
|---|---|
| 1 | 0= Extinta o perdida (según lista roja, pero vuelve a aparecer)<br>1= En peligro de extinción |
| 2 | 2= En grave peligro<br>R= Extremadamente raras (especies extremadamente raras o de presencia muy local cuyas poblaciones no han disminuido en general, pero que son particularmente vulnerables incluso a impactos menores) |
| 3 | 3= En peligro<br>G= en peligro de extinción en grado desconocido (especies que están en peligro de extinción, pero de las que no dispone de información suficiente para una categorización exacta) |
| 4 | V= Lista de alerta temprana (especies que han disminuido notablemente pero que aún no figuran en la lista) |
| 5 | Sin aproximar |

*Fuente: Bernotat, D. & Dierschke, V. (2021)*

#### 3.7.1.1 Agregación de los dos índices (PSI y NWI) para formar el MGI

Por regla general, el resultado de la agregación del **Índice de Sensibilidad Biológica de la Población** y del **Índice de Valor de Conservación de la Naturaleza** es decisivo en última instancia para las cuestiones de evaluación de la planificación relativas a la evaluación de la mortalidad antropogénica. Esta evaluación global de la importancia específica para cada especie de la mortalidad antropogénica se lleva a cabo en el marco del denominado Índice de Peligro de Mortalidad (MGI). Dado que ambos subíndices tienen más o menos la misma ponderación en términos de conservación de la naturaleza, no se vio ninguna posibilidad de una ponderación diferente comprensible. Debido a la escala de 9 niveles del Índice de Sensibilidad Biológica de la Población y a la escala de 5 niveles del Índice de Valor de Conservación de la Naturaleza, la combinación a través de la matriz da como resultado una escala total máxima de 13 niveles

(números arábigos para las diagonales respectivas). No obstante, esta escala tan diferenciada puede generalizarse en cierta medida para las cuestiones de planificación mencionadas al principio. Así, las seis clases I a VI (números romanos y colores) se formaron en función de los colores (ver Tabla 14).

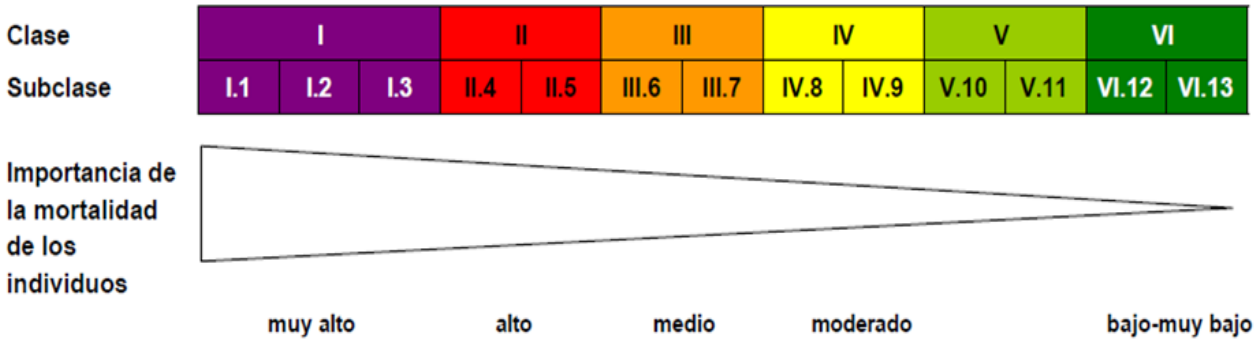
**Tabla 14.** Índice MGI luego de incorporar los subíndices PSI y NWI

| | Índice de valor conservación de la naturaleza (5 etapas) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Índice de sensibilidad biológica de la población (9 etapas) | 1 Muy alta | 2 alta | 3 medio | 4 bajo | 5 Muy bajo |
| 1 (extremadamente alto) | I.1 | I.2 | I.3 | II.4 | II.5 |
| 2 (muy alto) | I.2 | I.3 | II.4 | II.5 | II.6 |
| 3 (alto) | II.3 | II.4 | II.5 | III.6 | III.7 |
| 4 (relativamente alto) | II.4 | II.5 | III.6 | III.7 | IV.8 |
| 5 (medio) | II.5 | III.6 | III.7 | IV.8 | IV.9 |
| 6 (relativamente bajo) | II.6 | III.7 | IV.8 | IV.9 | V.10 |
| 7 (bajo) | II.7 | IV.8 | IV.9 | V.10 | V.11 |
| 8 (muy bajo) | II.8 | IV.9 | V.10 | V.11 | VI.12 |
| 9 (extremadamente bajo) | II.9 | V.10 | V.11 | VI.12 | VI.13 |

*Fuente: Bernotat, D. & Dierschke, V. (2021)*

Debido a la escala de nueve niveles del PSI y a la escala generalmente de cinco niveles del Índice de NWI, la combinación a través de la matriz da como resultado una escala total máxima de 13 niveles para el MGI (ver Tabla 15).

**Tabla 15.** Subclases del índice MGI y sus grados de importancia




*Fuente: Bernotat, D. & Dierschke, V. (2021)*

Finalmente, para calcular el riesgo de mortalidad de murciélagos en aerogeneradores, se deben agrupar los murciélagos en cinco niveles según el riesgo de colisión específico de acuerdo con sus hábitos de vuelo y de forrajeo.

- Nivel 1: riesgo de colisión muy elevado sobre todo a las especies con un número muy elevado de colisiones y una altitud de vuelo predominantemente muy elevada.

- Nivel 2: especies con un elevado número de colisiones o altitudes de vuelo relativamente elevadas.
- Nivel 3: especies de murciélagos de hábitos forestales.
- Nivel 4: especies que tienen un bajo número de víctimas mortales o cuya altitud de vuelo es predominantemente baja.
- Nivel 5: especies con un número muy bajo de colisiones y altitudes de vuelo muy bajas.

**Tabla 16.** Índice final de mortalidad de murciélagos alemanes por parques eólicos.

| Índice de riesgo de mortalidad (MGI) | Calsificación especifica del riesgo de colisión de las especies de murciélagos en los aero-generadores | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 muy alto | 2 alto | 3 medio | 4 bajo | 5 muy bajo |
| I.1 | | | | | |
| I.2 | | | | | Murciélago de herradura, Murciélago pequeño de herradura, Murciélago ninfal |
| I.3 | | | | Murciélago de estanque | Oreja larga gris, El Murciélago Bechstein |
| II.4 | | Murciélago de ala ancha | | | Murciélago carlino, bate de pestaña |
| II.5 | Murciélago del norte, Murciélago alpino | | | | Murciélago bigotudo |
| III.6 | Murciélago bicolor, Vencejo nóctulo menor, vencejo nóctulo mayor | | | | Murciélago orejudo de ratón, Murciélago orejudo pardo, Murciélago bigotudo menor, Murciélago con flecos |
| III.7 | Murciélago mosquito, Murciélago hoary, Murciélago de borde blanco | | | | Murciélago de agua |
| IV.8 | Murciélago pipistrelle | | | | |
| IV.9 | | | | | Murciélago de agua |
| V.10 | | | | | |
| V.11 | | | | | |
| VI.12 | | | | | |
| VI.13 | | | | | |

*Fuente: Bernotat, D. & Dierschke, V. (2021)*

En resumen, el índice presenta ventajas por sobre otros índices, pero según la información disponible en Chile de algunas especies, lo posiciona plenamente en desventaja frente a otros índices. No obstante, en términos generales se presenta las ventajas y desventajas de este índice alemán.

#### 3.7.1.2 Ventajas

- **Marco integral**: La metodología proporciona un enfoque estructurado para evaluar los riesgos de mortalidad en la fauna silvestre, combinando varios índices, como el Índice de Sensibilidad Biológica de la Población (ISP) y el Índice de Valor de Conservación de la Naturaleza (NWI), para generar una evaluación integral de la sensibilidad de las especies y su valor de conservación.
- **Estandarización**: El índice busca crear procesos de evaluación uniformes en diferentes proyectos y especies, lo que puede mejorar la consistencia en los esfuerzos de conservación y la toma de decisiones.
- **Cumplimiento legal**: Se alinea con los marcos legales para la protección de especies, permitiendo la operacionalización de las evaluaciones requeridas por las leyes de conservación.
- **Base científica**: La metodología se basa en una extensa investigación científica, proporcionando una base de datos transparente y completa que respalda sus evaluaciones.
- **Aplicación flexible**: El índice puede adaptarse a varios tipos de proyectos y especies, lo que lo hace versátil para diferentes contextos de conservación.

#### 3.7.1.3 Desventajas

- **Complejidad**: La metodología puede ser compleja, requiriendo una extensa recolección y análisis de datos, lo cual puede ser intensivo en recursos.
- **Potencial sobre generalización**: Aunque el índice busca evaluaciones integrales, puede haber limitaciones para capturar las particularidades de especies específicas o contextos locales, lo que podría llevar a una simplificación excesiva.
- **Dependencia de la calidad de los datos**: La efectividad del índice depende en gran medida de la disponibilidad y precisión de los datos sobre las poblaciones de especies y sus características ecológicas.
- **Desafíos de implementación**: La aplicación del índice en escenarios del mundo real puede enfrentar desafíos, como interpretaciones variables de los criterios entre diferentes partes interesadas, lo que podría conducir a inconsistencias en las evaluaciones.
- **Sensibilidad al cambio**: El índice puede necesitar actualizaciones y ajustes continuos basados en nuevos hallazgos científicos o cambios en los requisitos legales, lo que podría complicar su uso a largo plazo.

### 3.7.2 Índice de Sensibilidad de Aves (RSI) e Índice de Vulnerabilidad Espacial (SVI)

El Índice de Sensibilidad de Aves rapaces RSI (*Raptor sensitivity index* por sus siglas en inglés) diseñado para aves rapaces, fue propuesto por Noguera *et al*. (2010) como una adaptación de los índices propuestos por Garthe and Hüppop (2004) en campos eólicos marinos para campos eólicos

terrestres, como método para identificar las especies más sensibles de rapaces y detectar zonas de alta vulnerabilidad frente a su instalación. La presente propuesta contempla la adaptación del índice de Noguera *et al*. (2010) a partir de la aplicación realizada por ECOdiversidad (2020), con algunas modificaciones para incluir las singularidades de las especies en base a la "Guía para la descripción de los componentes suelo, flora y fauna de ecosistemas terrestres del SEIA" (SEA, 2015) y las características que aumentan el riesgo de colisión de los distintos grupos de aves según la "Guía para la evaluación del impacto ambiental de proyectos eólicos y de líneas de transmisión eléctrica en aves silvestres y murciélagos" (SAG, 2015).

#### 3.7.2.1 Índice de Sensibilidad de Aves (RSI)

Por regla general, el resultado de la agregación del Índice de Sensibilidad Biológica de la Población y del Índice de Valor de Conservación de la Naturaleza es decisivo en última instancia para las cuestiones de evaluación de la planificación relativas a la evaluación de la mortalidad antropogénica. Esta evaluación global de la importancia específica para cada especie de la mortalidad antropogénica se lleva a cabo en el marco del denominado Índice de Peligro de Mortalidad (MGI).

El Índice de Sensibilidad de Aves (RSI) considera siete factores, cuatro para evaluar comportamiento de vuelo y temporada, en donde se considera tipo de vuelo, altura de vuelo, maniobrabilidad y estacionalidad; y otros tres para evaluar la condición de sensibilidad de colisionar de cada especie, en donde se considera el tamaño poblacional, estado de conservación y capacidad reproductiva (Noguera et al., 2010). Cada uno de estos factores se pondera en una escala de 1 a 4, donde el valor 1 representa menor vulnerabilidad y el 4 mayor vulnerabilidad. Luego, el índice se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{A + B + C_1 + C_2 + D}{5}\right) \times \left(\frac{E + F + G}{3}\right)$$

Donde:

*A* = Tipo de vuelo
*B* = Altura de vuelo
*C* = Maniobrabilidad ($C_1$ corresponde a carga alar y $C_2$ a la relación de aspecto alar)
*D* = Estacionalidad
*E* = Tamaño poblacional
*F* = Estado de conservación
*G* = Capacidad reproductiva

A continuación, se detallan cada uno de los factores:

- **Tipo de vuelo**

Este factor se evalúa de acuerdo con el promedio de observaciones en que cada especie es observada en el área del proyecto. Los valores van de 1 a 4 y se describen en la tabla 17.

**Tabla 17.** Puntuación de tipos de vuelo

| Valor | Tipo de vuelo | Descripción |
|---|---|---|
| 1 | Perchado | El ave se encuentra posada. |
| 2 | Vuelo batido | El ave realiza vuelos con aleteo siguiendo la pendiente del suelo o paralelo a un lomaje o cubierta vegetal, pero sin ganar altitud. |
| 3 | Vuelo directo o rectilíneo | El ave realiza un vuelo directo, de forma lineal, y con un despegue rápido. |
| 4 | Vuelo circular ascendente | El ave utiliza las corrientes ascendentes para ganar altura. |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Altura de vuelo**

Al igual que el tipo de vuelo, la altura de vuelo se evalúa en una escala de 1 (baja vulnerabilidad) a 4 (alta vulnerabilidad). Estos intervalos se relacionan con la altura potencial de los aerogeneradores. A cada especie se le asigna la altura en la cual la especie es más abundante, en caso de que el valor máximo se presente en más de un rango se escogerá el rango de mayor riesgo. La valoración se señala a continuación.

**Tabla 18.** Puntuación de altura de vuelo

| Valor | Altura de vuelo | Descripción |
|---|---|---|
| 1 | 0-30 metros | El ave vuela principalmente por bajo el límite inferior de las aspas de los aerogeneradores y la especie presenta hábitos principalmente terrestres. |
| 2 | < 30 metros | El ave vuela principalmente por bajo el límite inferior de las aspas de los aerogeneradores sin presentar hábitos terrestres. |
| 3 | > 150 metros | El ave vuela principalmente sobre el límite superior de las aspas de los aerogeneradores. |
| 4 | Entre 30-150 metros | El ave vuela principalmente a la altura de los aerogeneradores. |

*Fuente: Elaboración propia*

Los rangos de altura pueden variar de acuerdo con el modelo de aerogenerador que se implemente en cada proyecto.

- **Maniobrabilidad**

Se considera una especie de baja maniobrabilidad a aquella que presenta una alta carga alar y una baja relación de aspecto, poseen una menor capacidad para sobrellevar los vórtices de viento producidos por los extremos de las aspas de los aerogeneradores (SAG, 2015). Este factor se considera en base a la morfología de las especies, considerando la **carga alar (C1)** y la relación de

aspecto (C2). La valorización de estos factores va desde 1 para especies con alta maniobrabilidad de vuelos a 4 para especies con baja maniobrabilidad (ver Tabla 19 y Tabla 20).

**Tabla 19.** Valores para carga alar (C1)

| Valor | Carga alar ($C_1$) | Descripción |
|---|---|---|
| 1 | Carga alar muy baja | El ave presenta alas grandes en relación con su peso (i.e. vari, gaviotas, halcones, gaviotines pelágicos, rayadores y gallinas ciegas). |
| 2 | Carga alar baja | El ave presenta alas moderadamente grandes en relación con su peso (i.e. halcones, golondrinas, golondrinas de mar, águilas, pelícanos, garzas, paseriformes. |
| 3 | Carga alar alta | El ave presenta alas pequeñas en relación con su peso (i.e. pilpilenes, zarapitos, palomas, carpinteros, pavos, pidenes y becacinas). |
| 4 | Carga alar muy alta | El ave presenta alas muy pequeñas en relación con su peso (i.e. perdices, codornices, cisnes, patos). |

*Fuente: Elaboración propia*

La **relación de aspecto ($C_2$)** se define como la relación entre la envergadura de las alas y la superficie alar. En términos generales, las especies con alas más cortas en relación con su superficie (menor relación de aspecto alar), presentan un mayor riesgo de colisión (Noguera *et al*., 2010). En la tabla 20 se describen los 4 niveles.

**Tabla 20.** Valores para relación de aspecto (C2)

| Valor | Relación de aspecto ($C_2$) | Descripción |
|---|---|---|
| 1 | Aspecto muy alto | El ave presenta alas delgadas en relación con su largo alar. Por lo general son excelentes voladores. |
| 2 | Aspecto alto | El ave presenta alas moderadamente delgadas con relación a su largo alar. |
| 3 | Aspecto bajo | El ave presenta alas moderadamente anchas con relación a su largo alar. |
| 4 | Aspecto muy bajo | Son aves que presentan alas anchas con relación a su largo alar. |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Estacionalidad**

La estacionalidad hace referencia a la posibilidad de presencia de una especie en una temporada dada, si es visitante regular o errante y si es migradora boreal o austral. Esto indicaría si se encuentran más tiempo expuestas al riesgo. En la tabla 21 se describen los 4 niveles.

**Tabla 21.** Valores para estacionalidad

| Valor | Estacionalidad | Descripción |
|---|---|---|
| 1 | Especies raras o errantes | La especie se presenta de manera ocasional. |
| 2 | Especies migradoras no reproductivas | La especie presenta conductas migratorias boreales o desplazamientos migratorios de corto alcance, por lo cual no se encuentran presentes en época reproductiva en el área de estudio. |
| 3 | Especies migratorias reproductivas | La especie presenta conductas migratorias, pero se reproduce en el área de estudio, aumentando su riesgo de colisión. |
| 4 | Especies residentes | La especie es residente en el área de estudio y puede observarse durante todo el año. Al pasar gran parte del tiempo en el área, estaría más propensa a colisionar. |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Tamaño poblacional**

En el trabajo de Noguera *et al.* (2010), se proponen valores de tamaños poblacionales de aves rapaces para especies presentes en el área de estudio. Por otra parte, en el trabajo de Garthe and Hüppop (2004), se utilizan valores del tamaño poblacional a nivel biogeográfico de cada una de las especies en el área de estudio. Para el caso chileno, el tamaño poblacional se puede obtener a partir del número de individuos observados en terreno para cada especie. Luego, las especies pueden ser divididas en cuatro categorías según el percentil de abundancia que presentaron en cada campaña. Se pondera según lo señalado en la Tabla 22.

**Tabla 22.** Valores para tamaño poblacional.

| Valor | Tamaño poblacional | Descripción |
|---|---|---|
| 1 | Población pequeña | La especie presenta una abundancia que se encuentra en el percentil P25, por campaña |
| 2 | Población moderada | La especie presenta una abundancia que se encuentra entre el percentil P25 y P50, por campaña |
| 3 | Población grande | La especie presenta una abundancia que se encuentra entre el percentil P50 y P75, por campaña |
| 4 | Población muy grande | La especie presenta una abundancia que se encuentra sobre el percentil P75, por campaña |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Estado de conservación**

Este factor se determina utilizando el estado de conservación de las especies a nivel nacional, considerando los criterios de clasificación definidos por el "Reglamento de clasificación de especies" (ver Tabla 23). El grado de amenaza de cada especie es clasificado en las siguientes cuatro categorías de menor a mayor preocupación:

**Tabla 23.** Valores para estado de conservación

| Valor | Estado de conservación[9] | Descripción |
|---|---|---|
| 1 | Especie no clasificada | La especie no ha sido clasificada por la legislación chilena. |
| 2 | Especie en Preocupación Menor (LC) | La especie no se encuentra clasificada en alguna categoría de conservación con grado de amenaza, pero es poco frecuente o escasa. |
| 3 | Especie Casi Amenazada (NT) | La especie, habiendo sido evaluada, no cumple con los criterios que definen las categorías de mayor grado de amenaza. |
| 4 | Especies amenazadas | La especie se encuentra clasificada en alguna categoría de conservación con grado de amenaza, es decir Vulnerable (VU), En peligro (EN) o En peligro crítico (CR). |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Capacidad reproductiva**

Las especies con mayor número de huevos por puesta podrían generar más crías, lo que implica una mayor capacidad para soportar y reemplazar las pérdidas individuales causadas por los aerogeneradores. En este sentido, este factor se valoriza de acuerdo con el tamaño de puesta descrito por Cramp y Simmons (1980) y Jutglar y Massó (1999) respectivamente (ver Tabla 24).

**Tabla 24.** Valores para capacidad reproductiva

| Valor | Capacidad reproductiva |
|---|---|
| 1 | Especies que presentan puestas de hasta 4 huevos |
| 2 | Especies que presentan puestas de 3 a 4 huevos |
| 3 | Especies que presentan puestas de 2 huevos |
| 4 | Especies que presentan puestas de sólo 1 huevo |

*Fuente: Elaboración propia*

[9] Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [en línea] https://www.iucnredlist.org/es

### 3.7.2.2 Índice de Vulnerabilidad Espacial (SVI)

Este índice fue creado por Stefan Garthe y Ommo Hüppop en el año 2004, el cual evalúa los posibles efectos adversos de los parques eólicos marinos sobre las aves marinas. El índice se basa en varios factores que afectan la vulnerabilidad de las aves, como el riesgo de colisión, desplazamiento y pérdida de hábitat. Combina información sobre la ecología de las especies, su comportamiento de vuelo y uso del espacio, para identificar qué especies de aves son más susceptibles a sufrir impactos por la presencia de aerogeneradores marinos. A partir de los valores del SVI se pueden construir mapas de vulnerabilidad potencial. Por un lado, se puede elaborar un mapa de vulnerabilidad potencial que incluya a todas las especies de aves, y por otro, se puede construir un mapa de vulnerabilidad potencial que solo incluye aquellas especies de aves con valores de RSI superiores a la mediana. Este segundo mapa permite evitar los efectos de dilución que pueden producirse al incluir todas las especies en aquellas con altos valores de RSI. Se puede establecer tres niveles de riesgo según los percentiles 50 y 75 de los valores de SVI para una evaluación final del área de estudio (ver Tabla 25).

**Tabla 25.** Valores para áreas de riesgo

| Valores de riesgo | Percentiles | Descripción |
|---|---|---|
| 1 | < percentil 50 | Valores por debajo del percentil 50 se consideran áreas de bajo riesgo. |
| 2 | percentil 50-75 | Valores comprendidos entre los percentiles 50 y 75 como áreas de riesgo moderado. |
| 3 | > percentil 75 | Valores superiores al percentil 75 se consideraron áreas de alto riesgo. |

*Fuente: Elaboración propia*

El SVI se calcula aplicando la siguiente fórmula propuesta por Garthe y Hüppop (2004) para cada celda de la cuadrícula de 1 km² en el área del proyecto (ver Figura 9).

$$SVI = \sum_{1}^{n} (\ln ln\,(pi + 1)\; x\; RSIi$$

Donde:

***pi:*** es el número de observaciones para la especie “i” en la cuadrícula, y

***RSIi*****:** es el valor de RSI para la especie “i”

**Figura 9.** Aplicación del índice SVI

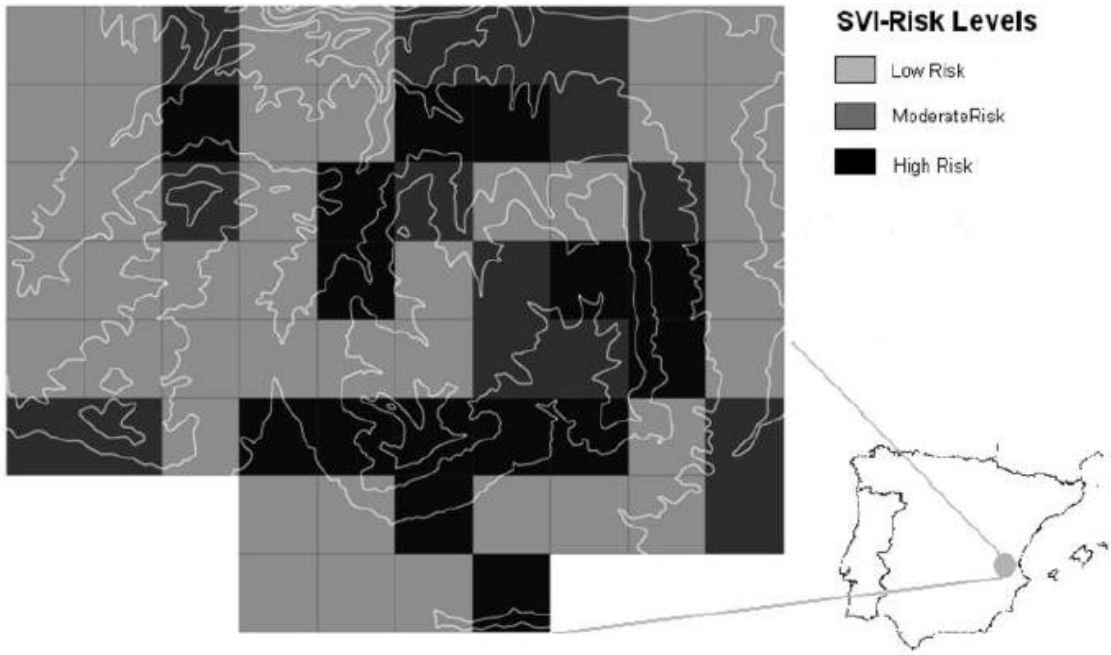



FIG. 1.—Spatial distribution of the SVI values transformed in Risk Levels in the study area (1 km x 1 km) including the nine raptors species incorporated in the analysis.
*[Distribución espacial de los valores de SVI transformados en niveles de riesgo para el área de estudio incluyendo las nueve especies de rapaces incorporadas en el análisis.]*

*Fuente: Noguera et al. (2010).*

Las principales ventajas del índice de sensibilidad de aves son:

- Permite incorporar factores disponibles en la literatura técnica o científica.
- Permite mejorar la evaluación del impacto sobre aves con datos precisos del área de estudio.
- La altura de vuelo se puede adaptar a las características de las turbinas de cada proyecto.
- Se puede trabajar a una escala de 500m$^2$ o 1 km$^2$ dependiendo del tamaño del parque eólico.

Algunas desventajas al índice original son:

- Datos del tamaño poblacional no disponibles a nivel nacional para la mayoría de las especies.
- Es necesario contar con datos mensuales de censos de aves que incluyan las principales fechas de migración.
- Diseñado específicamente para aves rapaces.

### 3.7.3 Índice SSS (siglas en inglés de Species Sensitivity Score)

El Modelo de Puntuación de Sensibilidad de Especies SSS (*Species Sensitivity Score* en inglés) fue diseñado y probado inicialmente como parte de un proyecto financiado por la Autoridad de Energía

Sostenible de Irlanda (SEAI) en 2012 (Tierney *et al*. 2012). Este modelo requiere evaluar los siguientes tres componentes para cada especie antes de introducir sus puntuaciones en el modelo:

- Estado de conservación
- Vulnerabilidad a colisiones
- Preferencia de hábitat

Luego de evaluar cada componente se determina una Puntuación de Sensibilidad de Especies (SSS) y la subsiguiente clasificación de las especies. A continuación, se describe este proceso y cómo se modifica.

Para el componente estado de conservación, el primer criterio utilizado es la presencia o ausencia de la especie en el Anexo I de la Directiva de Aves. El segundo criterio proporciona una calificación según el nivel asignado por las Especies de Preocupación para la Conservación en Europa (SPEC) (BirdLife International 2004). El tercer criterio es la evaluación del estado de las especies utilizando la lista más reciente de "Aves de preocupación para la conservación en Irlanda" (Colhoun & Cummins, 2013). Las proporciones de la ruta migratoria o de la población reproductora/invernante en Europa se obtuvieron de Crowe *et al.* (2008) y BirdLife International (2004). El valor máximo registrado para las primeras cuatro columnas da la puntuación determina la puntuación final (ver Tabla 26).

**Tabla 26.** Ejemplo que ilustra los criterios utilizados para calcular el Índice de Conservación del Colimbo Chico en Irlanda

| | Anexo I de la Directiva de Aves[1] | Especie SPEC en la UE[1] | BoCCI | Proporción de ruta migratoria o BiE2 (euro/B/W)[2] | Puntuación de conservación |
|---|---|---|---|---|---|
| Puntaje 4 | Sí | SPEC 1 | Rojo | >50% | |
| Puntaje 3 | | SPEC 2 | Rojo | 26-50% | |
| Puntaje 2 | | SPEC 3 | Ámbar | 11-25% | |
| Puntaje 1 | | Non-SPEC | Verde | 1-10% | |
| Puntaje 0 | No | Non-SPEC | Verde | <1% | |
| **Colimbo chico** | **4** | **2** | **2** | **0** | **4** |

[1] Una especie de interés para la conservación en Europa (BirdLife International 2004).
[2] Proporción de la población migratoria de la población europea (reproductora o invernante). Fuente: Aves en Europa 2 (BiE2) (BirdLife International, 2004).
BoCCI: Aves de Interés para la Conservación en Irlanda.
B/W: Breeding / Wintering (en inglés).
BIE2: Birds in Europe (en inglés).

*Fuente: Mc Guinness et al. (2015)*

Posteriormente, se evalúan 12 factores (ver Tabla 27) de riesgo para una especie vulnerable a la infraestructura de energía eólica, para ser incluidos en el modelo. Los factores de vulnerabilidad se dividen en dos grupos: a) comportamiento de vuelo y b) requerimientos de hábitat. Estos factores incluyen el riesgo de colisión con turbinas; desplazamiento por infraestructura eólica; afectación por barreras de movimiento o migración; y pérdida de hábitat debido a desarrollos eólicos. Cada factor de riesgo de vuelo y factor de riesgo de hábitat se puntúa en una escala de 5 puntos (0 a 4) donde, mientras más alto es el resultado final, indicará una mayor vulnerabilidad de colisión con infraestructura eólica.

**Tabla 27.** Factores de riesgos considerados en el índice SSS

| Factores de riesgo del vuelo | Factores de riesgo del hábitat |
|---|---|
| Tasa de supervivencia de adultos | Rango en irlanda |
| Maniobrabilidad de vuelo | Fidelidad al sitio |
| Elevarse/volar a la altura de la turbina | Disponibilidad de hábitat preferido |
| Depredador/cazados de presas aéreas | Preferencia de hábitat |
| Comportamiento variado | Sensibilidad a la perturbación o desplazamiento |
| Bandadas | Exhibición aérea |

*Fuente: Mc Guinness et al., 2015*

Finalmente, el Species Sensitivity Score (SSS) considera tres factores clave: estado de conservación, vulnerabilidad a la colisión y preferencia de hábitat. El SSS final se determina multiplicando la puntuación de conservación de una especie por el promedio de sus puntuaciones de vulnerabilidad en vuelo y de hábitat. Estos factores son evaluados en una escala de 0 a 4, con valores más altos indicando mayor sensibilidad. Este proceso ayuda a identificar qué especies son más vulnerables al desarrollo de infraestructuras eólicas, teniendo en cuenta su ecología y comportamientos específicos.

$$SSS = PC \times (PPVV + PPVH)$$

Donde:

**SSS:** Puntuación de Sensibilidad de Especie
**PC:** Puntuación de conservación
**PPVV:** Promedio de puntuaciones de vulnerabilidad de vuelo
**PPVH:** Promedio de puntuaciones de vulnerabilidad del hábitat

Una vez obtenidos los valores de los índices, estos se utilizan como una herramienta clave para mapear la sensibilidad de aves en relación con el desarrollo de infraestructura eólica. Los índices calculados para cada especie permiten establecer un nivel de sensibilidad en áreas específicas, creando mapas de sensibilidad que ayudan a identificar zonas de mayor riesgo para especies vulnerables. Estos mapas, que agregan los SSS de varias especies en un área, son utilizados en los procesos de planificación y evaluación ambiental, ayudando a los desarrolladores a evitar o mitigar impactos negativos en poblaciones de aves sensibles.

## 3.8 Consideraciones para la prefactibilidad de proyecto

Para sintetizar las características comunes de los criterios de evaluación de impacto ambiental en Alemania, España, Países Bajos y Chile, se identifican los siguientes aspectos ordenados por importancia, los cuales podrían considerarse para el desarrollo de un proyecto como parte de su prefactibilidad:

### 3.8.1 Nivel de riesgo intrínseco de la especie

En Europa se ha evaluado el riesgo de las aves a nivel de grupo taxonómico (i.e. Orden, Familia) o a nivel de especie. La clasificación se ha realizado en cinco niveles, los cuales van desde muy elevado hasta muy bajo. Esta clasificación se ha realizado a partir de datos de mortalidad a nivel europeo en donde hay especies con mayor número de mortalidad y la biología propia de la especie. Esto podría aplicarse en Chile según la cercanía taxonómica entre especies de Europa y Chile, y, a partir de datos reportados a la SMA o trabajos científicos especializado en mortalidad en LTE y parques eólicos (i.e. Rebolo-Ifrán *et al.,* 2023; Santander *et al., en prensa*). Los 5 niveles son los siguientes:

- Nivel 1: riesgo muy elevado de colisión.
- Nivel 2: riesgo alto de colisión.
- Nivel 3: riesgo medio de colisión.
- Nivel 4: riesgo bajo de colisión.
- Nivel 5: riesgo muy bajo de colisión.

### 3.8.2 Ubicación del proyecto

En todos los países, con excepción de Chile, se destaca la importancia crucial de la ubicación y el diseño detallado de proyectos de energía como parques eólicos y líneas de transmisión eléctrica. La selección del sitio es fundamental para minimizar los impactos adversos sobre la vida silvestre, especialmente en áreas sensibles como Zonas de Especial Protección (ZEP), Áreas Importantes para las Aves y la Biodiversidad (IBA) y rutas migratorias clave. Los criterios clave a la hora de evaluar la instalación de este tipo de proyectos son:

- Distancia espacial del proyecto a los lugares de presencia de las especies o a los distintos hábitats (parciales) de las especies con riesgo de mortalidad.
- Ubicación dentro o fuera de las zonas de reproducción o descanso y de zonas protegidas.
- Ubicación dentro o fuera de la zona de acción central o más amplia de los animales (por ejemplo, alrededor de lugares de cría, colonias, dormideros, aguas de desove, etc.)
- Ubicación del área de peligro en zonas de alta o baja frecuencia de uso.
- Trayectorias o rutas de vuelo y su frecuencia de uso: frecuencias altas serán rutas de vuelo.

La distancia espacial es un factor clave en la relevancia de un proyecto en relación con la legislación sobre la protección de especies o áreas naturales, especialmente si está ubicado dentro del área de distribución de una especie en peligro de colisión. Para evaluar el riesgo específico, se distingue entre proyectos ubicados "en el centro" de una zona o agregación, "inmediatamente adyacentes" a un lugar de reproducción (nivel 3), en la "zona de acción central" de una especie (nivel 2) o en la "zona de acción más amplia" de una especie (nivel 1). El término "en el centro" generalmente se refiere a una ubicación dentro de una zona crítica, como un área de cría o descanso. Por otro lado, "directamente colindante" se refiere a las áreas inmediatas a los lugares de cría, donde se desarrollan actividades esenciales como la demarcación del territorio, la recolección de material de nidificación y el cuidado de las crías. Los proyectos "directamente vecinos" pueden afectar directamente las actividades de cría y los lugares de reproducción.

Cuando se ven afectadas las zonas de acción, el riesgo se relaciona principalmente con la movilidad de los animales. La distinción entre "zona de acción central" y "zona de acción más amplia" se basa

en la frecuencia de uso del espacio, siendo significativamente mayor en las áreas centrales cercanas a la presencia de una especie. Los límites de estas zonas se determinan por los bordes exteriores de las áreas de reproducción o descanso. Para las parejas reproductoras y colonias, estos valores representan las zonas de acción en torno a sus lugares de reproducción.

### 3.8.3 Hábitat potencial

Menciona las áreas geográficas donde existen las condiciones ecológicas necesarias para que la especie pueda vivir, reproducirse y completar su ciclo de vida, incluso si actualmente no habita en esas áreas. Estas condiciones incluyen factores como clima, disponibilidad de alimento, refugio, y ausencia de depredadores o competencia extrema. Los análisis del potencial de hábitat (HPA) son herramientas valiosas en la planificación, especialmente para identificar áreas adecuadas para especies relevantes. A nivel de planificación, sustituyen o complementan la cartografía de especies. En el contexto de la predicción del uso del suelo, los HPA ayudan a determinar la idoneidad del hábitat y la posible frecuencia de uso dentro de un espacio. Estos análisis comparan las preferencias de hábitat de especies conocidas con las características del biotopo, el paisaje y el uso del suelo de la zona. La evaluación se realiza mediante fotografías aéreas, mapas y, si es necesario, verificaciones en campo, clasificando las áreas como altamente, medianamente o poco idóneas para las especies. Además, se considera si una zona actúa como corredor hacia hábitats de mayor calidad, incluso si no es directamente adecuada como hábitat.

### 3.8.4 Hábitats de relevancia

Los hábitats de relevancia son cruciales para mantener poblaciones viables y estables, especialmente para especies en peligro o con requerimientos ecológicos específicos. La identificación de hábitats de relevancia es fundamental en los esfuerzos de conservación, ya que protegiendo estos lugares se garantiza el bienestar y la persistencia a largo plazo de las especies. Europa recomienda no instalar turbinas eólicas en ningún tipo de bosque ni a menos de 200 metros de ellos, debido al alto riesgo de mortalidad de murciélagos. Esta distancia se mide desde el borde de las aspas, no desde el eje central de la torre. Además, Voigt *et al.* (2024) sugiere que la distancia mínima para instalar un aerogenerador respecto a zonas críticas de biodiversidad, como áreas de forrajeo y colonias pequeñas, debería ser de 500 metros y de cinco kilómetros en el caso de colonias grandes (más de 100 murciélagos). Para aves se sugieren distancias similares con respecto a áreas de agregación de aves como sitios de alimentación, reproducción o descanso. Dependiendo de la especie, las distancias mínimas van desde los 500 hasta 3.000 metros (Atienza *et al.,* 2008; Bernotat & Dierschke, 2021).

n Países Bajos, se recomienda establecer una zona de amortiguamiento de 3 a 5 kilómetros alrededor de los parques eólicos, medida desde los bordes del parque, donde se estudie la presencia y actividad de las especies objetivo, incluyendo sus áreas de alimentación y refugio. En particular, en la provincia de Zuid-Holland, se sugiere realizar estudios preliminares durante todo el año en un radio de 10 kilómetros alrededor de cada turbina, con especial énfasis en los meses de migración otoñal, cuando se registra la mayor mortalidad.

En el caso de España, este país exige en su evaluación que el titular del proyecto presente, al menos, tres alternativas viables de localización, donde todos los criterios técnicos deben estar relacionados con el impacto sobre aves y murciélagos. Sin embargo, considerando que los proyectos eólicos están evolucionando a turbinas más grandes y eficientes, el criterio español considera fundamental para establecer el impacto potencial de una zona, el tamaño del parque eólico considerando el número de aerogeneradores y la potencia de estos.

### 3.8.5 Diseño del proyecto

En proyectos eólicos deben ser evaluadas las características del parque, tales como:

- Número de aerogeneradores.
- Altura total del aerogenerador y aspas.
- Zona de barrido de las aspas. Se debe considerar específicamente el radio de las aspas y la altura mínima y máxima de estas durante su funcionamiento. Esto se debe a que es relevante para las especies presentes en el área del proyecto debido a las conductas de vuelo particulares de cada especie. Por lo tanto, las alturas de los rotores no pueden evaluarse de forma generalizada, sino sólo como parte de una evaluación caso por caso y teniendo en cuenta el espectro de especies relevante en el lugar.

Para las LTE se deben considerar las siguientes características de diseño:

- Altura de las torres o postes.
- Número de conductores y disposición de estos en la torre o poste (distancia vertical entre conductores).
- Diámetro del cable de guardia.
- Longitud del vano entre torres o postes.

## 3.9 Medidas ambientales y compromisos ambientales voluntarios

Como se ha mencionado, la implementación de proyectos de energía eólica y líneas de transmisión eléctrica puede generar impactos significativos sobre la avifauna y los murciélagos, debido a que estas especies son vulnerables, principalmente, a la colisión, pero también a la pérdida y fragmentación de hábitat, por lo cual, para abordar aquellos impactos significativos, se deben adoptar una serie de medidas dentro de la planificación de los proyectos, como aquellas enfocadas en mitigar, reparar o compensar impactos propuestas por los titulares para hacerse cargo de estos impactos.

Las medidas de mitigación ambiental buscan evitar o disminuir los efectos adversos del proyecto o actividad, cualquiera sea su fase de ejecución, la cual considera: medidas que impidan o eviten completamente el efecto adverso significativo mediante la no ejecución de una obra o acción; o también la minimización o disminución de los efectos adverso significativo mediante una adecuada limitación o reducción de la extensión, magnitud, duración de la obra o acción; o mediante medidas tecnológicas y/o de gestión consideradas en el diseño. Algunos ejemplos son la selección adecuada de sitios para evitar áreas sensibles, el uso de tecnologías de detección y desvío de fauna sensible y la programación de la operación de aerogeneradores durante periodos de alta actividad de las especies.

Por otro lado, las medidas de reparación ambiental tienen por finalidad reponer uno o más de los componentes o elementos del medio ambiente a una calidad similar a la que tenía con anterioridad al impacto sobre dicho componente o elemento o, en caso de no ser ello posible, restablecer sus propiedades básicas. Algunos ejemplos son la restauración de hábitats afectados y el rescate de fauna herida.

Finalmente, las medidas de compensación ambiental tienen por finalidad producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso identificado, que no sea posible de mitigar o reparar. Algunos ejemplos son la creación de hábitats equivalentes o el apoyo a proyectos de conservación en áreas críticas para las especies afectadas.

Estas medidas deben ser integrales y adaptativas, basándose en un monitoreo continuo y en la evaluación de la efectividad de las acciones implementadas, con el fin de minimizar las consecuencias sobre la biodiversidad y promover un desarrollo sostenible. Por lo cual, en la primera sección del capítulo se revisará medidas y compromisos ambientales voluntarios producto de impactos generados en líneas de transmisión eléctrica y parque eólicos, mientras que en la segunda sección del capítulo se revisará indicadores de cumplimiento y frecuencias para obtener un seguimiento de las medidas.

A continuación, se presentan las medidas ambientales asociadas a los proyectos de líneas de transmisión eléctrica y de parques eólicos.

## 3.9.1 Medidas ambientales para líneas de transmisión eléctrica

### 3.9.1.1 Medidas de mitigación

Las líneas de transmisión eléctrica afectan a las aves principalmente interponiéndose en sus rutas de vuelo, generando efectos de barrera, efectos de borde, pérdida de hábitat y fragmentación de sus áreas de forrajeo (Biasotto and Kindel, 2018). De esta manera, el principal impacto producido por las líneas de transmisión es la colisión de las aves con el tendido eléctrico, generalmente con el cable de guardia que se instala entre las torres de alta tensión (Rioux *et al.,* 2013).

Las medidas asociadas a los tendidos eléctricos están dirigidas a mitigar la colisión y/o electrocución de individuos con las estructuras eléctricas (ver Tabla 28). Principalmente, se proponen medidas anticolisión, debido a que los proyectos de líneas de transmisión están especialmente asociados a la pérdida de aves por colisión con los conductores o el cable de guarda. Las medidas para reducir la pérdida de individuos por electrocución se aplican en menor medida, ya que la configuración estructural de este tipo de tendidos es menos propicia para que se produzcan eventos de electrocución.

**Tabla 28.** Tipos de medidas utilizadas en proyectos de líneas de transmisión eléctrica para aves

| Tipo de medida | Medidas anticolisión | | | | | Medidas anti-electrocución | | | Medida mixta |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Disuasores | Luces UV | Disuasor ultrasónico | Cable guardia > 20 mm diámetro | Soterramiento | Aisladores suspendidos en conductores bajo cruceta | Separación conductores | Dispositivos anti-percha | Remoción de carcasas* |
| Diseño del tendido | | | | X | X | X | X | | |
| Dispositivos anticolisión | X | X | X | | | | | | |
| Dispositivos anti-electrocución | | | | | | | X | X | X |

*Medida empleada para evitar colisión y/o electrocución de aves en tendidos eléctricos.

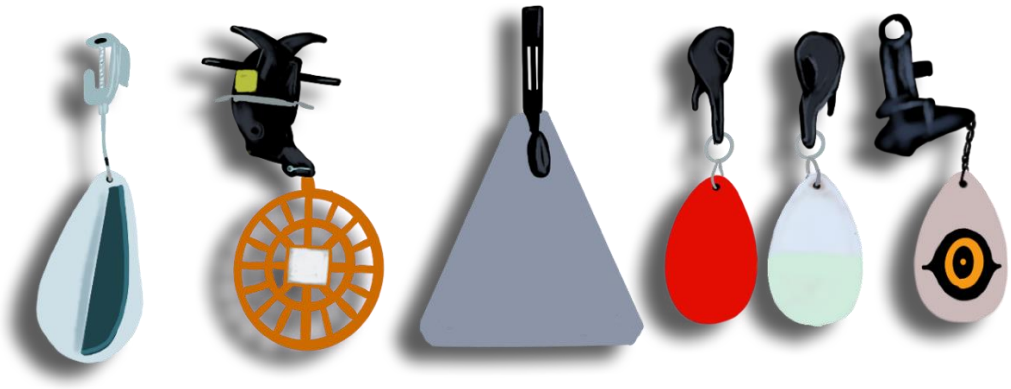
*Fuente: Elaboración propia*

**a) Dispositivos anticolisión**

Actualmente, la medida más efectiva y popular para reducir la mortalidad de aves por colisión con el tendido eléctrico es el uso de disuasores de vuelo. Estos dispositivos provocan que las aves vuelen de manera menos perpendicular hacia los cables y realicen giros más pronunciados para evitarlos (ver Figura 10 y Figura 11). Además, se ha observado que la altura de vuelo es mayor en las áreas marcadas, lo que aumenta su eficacia (Pavón-Jordán *et al.,* 2020). Cabe señalar, que la efectividad de esta medida varía según el entorno, la especie de ave que se desea proteger y las

características del disuasor utilizado (Bernardino *et al.,* 2019; Marques *et al.,* 2020). En este contexto, se puede indicar que diversos estudios han demostrado la efectividad de los disuasores de vuelo, por ejemplo, un metaanálisis de 21 estudios reportó una reducción de mortalidad entre el 55% y el 94%, con un promedio del 78% (Bernardino *et al.,* 2019), mientras que, en Sudáfrica, un monitoreo de ocho años reveló que la mortalidad de grullas azules disminuyó en un 92%, y en otras aves grandes, en un 51% (Shawn *et al.,* 2019). Estudios asociados a la biología de las especies apuntan a la implementación de marcadores más grandes, más brillantes y colocados a menor distancia, basándose en el conocimiento sobre la visión de las aves, para mejorar la efectividad en la prevención de colisiones (Bernadino *et al.,* 2018).

**Figura 10.** Tipos de disuasores de colisión



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 11.** Ubicación de disuasores de colisión en líneas de transmisión eléctrica

*Fuente: Elaboración propia.*

**b) Luces UV para tendidos**

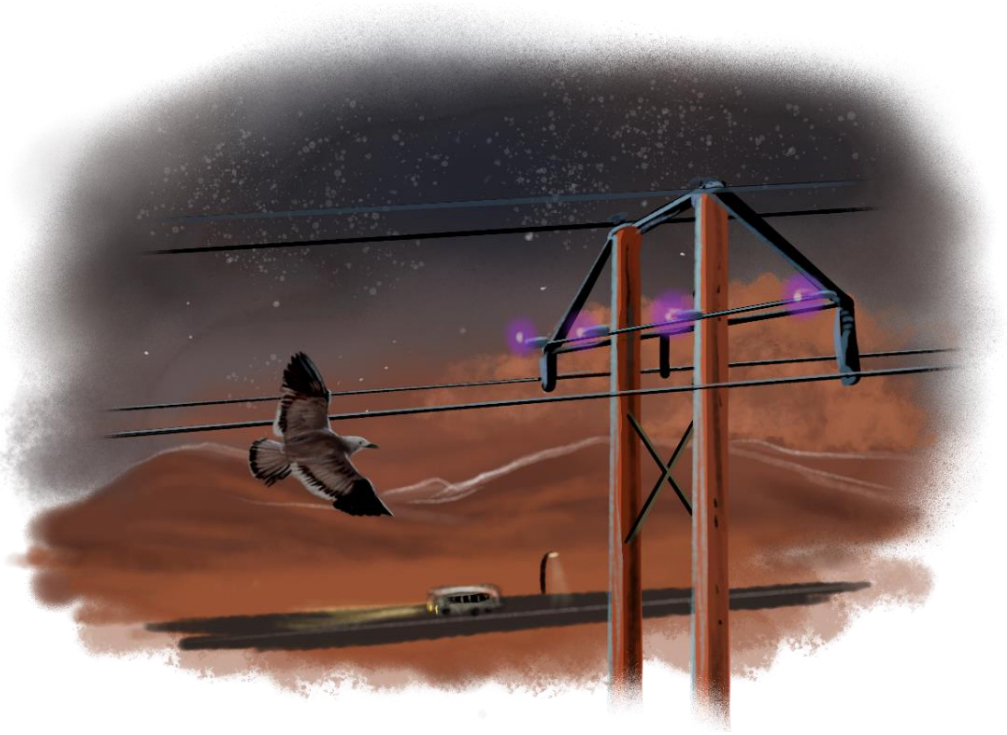
El uso de disuasores de vuelo en líneas eléctricas ha demostrado ser eficaz para prevenir colisiones de aves durante el día, aunque su efectividad disminuye durante la noche para algunas especies. Por ello, se ha propuesto el uso de luces como apoyo durante las horas de la noche (ver Figura 12).

En el caso del país Estados Unidos, se evaluó una estrategia alternativa mediante el Sistema de Prevención de Colisión de Aves (SPCA), que emplea una luz ultravioleta cercana instalada en un poste. Con este sistema se redujeron las colisiones en un 98% y los vuelos peligrosos en un 82%. Además, disminuyeron en un 32% las maniobras evasivas realizadas a menos de 25 metros del cableado y aumentaron en un 71% los vuelos más seguros (Dwyer *et al*., 2018).

Por otro lado, en un estudio desarrollado por Baach *et al*. (2022) evaluaron la eficacia de dos lámparas UV (390-400 nm) en un tramo de 260 metros de líneas eléctricas en un área clave para aves migratorias en Nebraska (Estados Unidos). Las colisiones disminuyeron en un 88% con esta iluminación, y se observó que, incluso cuando las luces estaban apagadas, se redujeron las colisiones en un 39,4%, gracias al "efecto vecino" que mejora la visibilidad del cableado, complementando los disuasores diurnos (Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía, 2022c).

Cabe señalar que esta media debe considerara la normativa chilena relacionada con luminosidad artificial generada por alumbrados de exteriores, según el D.S N° 1/2022, la cual establece restricciones en sectores con presencia de especies afectados por contaminación lumínica que tienen un Plan de Recuperación, Conservación o Gestión vigente (Plan RECOGE) (SEA, 2024).

**Figura 12.** Ejemplo de luces UV para minimizar colisión



*Fuente: Elaboración propia.*

**c) Soterramiento del tendido**

Soterrar el tendido eléctrico se considera la única solución 100% efectiva para evitar las colisiones de aves con las líneas eléctricas. Esta medida ya se utiliza en países como Alemania, Bélgica, Noruega, Países Bajos y Estados Unidos. Su implementación generalmente responde a razones estéticas o normativas, aunque también hay casos donde se ha aplicado por motivos de conservación, como en el este de Austria y el oeste de Hungría, para proteger a la avutarda común (Otis tarda). En Italia, un tercio de las líneas cercanas al Parque Regional del Delta fueron soterradas para prevenir colisiones de aves (Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía, 2022c).

A pesar de sus beneficios, esta medida suele ser descartada debido a su alto coste económico, ya que es entre 4 y 10 veces más cara que el cableado convencional. Además, presenta complicaciones técnicas y legales, y puede generar pérdidas de potencia en tramos largos al estar enterrada (Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía, 2022c).

### 3.9.1.2 Medidas de reparación

Como medida de reparación para Líneas de Transmisión se ha sugerido restauración o enriquecimiento de hábitat bajo el tendido o en la base de las torres. El estudio de Ferrer *et al*. (2020) analizó el potencial de las líneas de transmisión eléctrica para actuar como "corredores ecológicos" o "puntos de conexión" que faciliten la biodiversidad en paisajes fragmentados. A través de técnicas de restauración ecológica en las áreas debajo y alrededor de las torres eléctricas, los investigadores propusieron manejar estos espacios para promover la biodiversidad local y conectar hábitats aislados. La restauración implicó intervenciones como la creación de microhábitats mediante la plantación de arbustos nativos y la colocación de refugios para pequeños vertebrados e invertebrados.

Los resultados mostraron que estos espacios restaurados bajo las líneas eléctricas incrementaron la presencia y diversidad de especies de aves, pequeños mamíferos e invertebrados. Esto sugiere que, mediante una gestión adecuada, las áreas debajo de las torres de transmisión pueden funcionar como "escalones" que promuevan la conectividad de hábitats fragmentados. Así, el estudio plantea que la restauración en corredores de transmisión no solo ayuda en la reparación ambiental, sino que también representa una estrategia de conservación viable, integrando biodiversidad y conectividad en infraestructura existente.

Por otra parte, el proyecto LIFE Elia-RTE [10], considera crear corredores verdes bajo las líneas eléctricas aéreas en áreas boscosas de Bélgica y Francia para mejorar la biodiversidad y sensibilizar a las personas sobre los hábitats naturales y las especies vinculadas a este contexto lineal.

Sin embargo, lo anterior debe ser adaptado a la normativa vigente con respecto al manejo de la vegetación bajo las líneas de transmisión eléctrica en Chile (Resolución Exenta N° 33.277 con fecha 10/09/2020).

[10] Proyecto Life-Elia [en línea] http://www.life-elia.eu/en/The-project

**Figura 13.** Restauración de hábitat bajo el tendido eléctrico

*Fuente: LIFE Elia-RTE[10].*

#### 3.9.1.3 Medidas de compensación

En el caso de medidas de compensación a nivel nacional o internacional por afectación de líneas eléctricas, en el presente estudio no fue posible identificar este tipo de medidas para aves o murciélagos, dado que hay medidas que no están comprobadas científicamente.

### 3.9.2 Medidas ambientales para proyectos eólicos

La selección del emplazamiento es crucial para una planificación de la energía eólica que respete la naturaleza, ya que una elección cuidadosa de las áreas potenciales para los parques eólicos puede evitar gran parte de los conflictos entre esta tecnología y la protección de especies, incluso antes de iniciar la construcción (Hötker *et al.*, 2005; Powlesland, 2009). Para ello, las directrices de instalación de estos proyectos deberían estar enmarcadas en un plan de ordenamiento territorial a nivel nacional o regional, como ocurre en países como Alemania o España. Esto permite mantener libres de proyectos eólicos las zonas clave para la conservación de la naturaleza o de especies específicas.

La disposición espacial del parque puede utilizarse para minimizar los impactos negativos sobre la fauna debido a que la probabilidad de colisión depende de la posición de las turbinas (Erickson *et al*., 2002; May *et al*.,2015). Estudios en Norteamérica han demostrado que una mayor densidad de aerogeneradores puede mejorar la percepción del peligro por parte de las aves (Smallwood & Thelander. 2004). Específicamente se ha documentado que las turbinas más peligrosas para las aves son las ubicadas al final de una fila o las que se encuentran aisladas, mientras que las turbinas en grupo presentan un menor riesgo. Por lo general, la mayor frecuencia de colisiones ocurre en las turbinas individuales o en las que se ubican en la periferia de un parque eólico (Rasran *et al*., 2010). Junto con la disposición de las turbinas, la cantidad de turbinas también tiene una incidencia

en el riesgo de colisión, en donde la mortalidad es mayor en parques eólicos de menor tamaño (Rasran & Dürr, 2014), y la evitación de las aves es mayor en parques con disposición en grupo de sus turbinas en comparación con una disposición lineal (Larsen & Madsen, 2000).

#### 3.9.2.1 Análisis previo de la localización de proyecto

Existe un consenso sólido sobre la importancia crítica de la ubicación seleccionada para un parque eólico, ya que influye directamente en la probabilidad de impactos negativos sobre la fauna. Los parques eólicos deben ser localizados, diseñados y gestionados de manera que no causen impactos adversos significativos en la vida silvestre de importancia nacional e internacional, ni en sus hábitats. La primera medida de prevención para disminuir los impactos negativos sobre avifauna y murciélagos por los parques eólicos es elegir una ubicación y diseño sostenible. Es esencial realizar un estudio previo para identificar la presencia de especies y cómo utilizan el área. A su vez, hay ciertas condiciones donde no es recomendable construir parques eólicos, como lo son áreas con grandes concentraciones de aves y murciélagos, incluidos sitios de alimentación, descanso, reproducción o donde existan colonias de cría. Se deben evitar también los lugares que sirven de tránsito entre áreas clave para estas especies, así como las rutas migratorias. Para los murciélagos, los bosques y humedales son importantes fuentes de alimento. No obstante, se deberían preferir áreas planas con poca vegetación, ya que el riesgo de colisión es menor según lo indica De Grijs Elora (2018). En este mismo informe se señala que es crucial realizar estudios de terreno en zonas mayores al área de influencia del proyecto hasta una distancia de 10 km de radio alrededor de cada turbina, durante todo el año especialmente en los meses más críticos, correspondiente a la crianza y movimientos migratorios que es cuando ocurren la mayoría de las colisiones.

#### 3.9.2.2 Medidas de mitigación

La gran mayoría de las medidas empleadas en los parques eólicos están dirigidas a mitigar el impacto de colisión de aves y murciélagos con los aerogeneradores (ver Tabla 29). Las principales medidas utilizadas en parques eólicos son el aumento de la velocidad de arranque, la detención programada de turbinas y el aumento de visibilidad de las estructuras.

**Tabla 29.** Tipos de medidas de mitigación para evitar colisión de aves y murciélagos

| Tipo de medida | | | | Grupo focal | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Detención programada mediante observadores | Detención programada mediante radares | Detención programada mediante cámaras (sensores de imagen) | Aves | Murciélagos |
| 1) Detención programada de turbinas | X | X | X | X | X |
| 2) Aumento de la velocidad de arranque (*curtailment*) | | | | | X |
| 3) Aumento de visibilidad de las turbinas | | | | X | |
| 4) Evitar la atracción | | | | X | X |
| 5) Disuasores de sonido | | | | X | |
| 6) Disuasores visuales | | | | | X |
| 7) Disuasores ultrasónicos | | | | | X |
| 8) Cambio de textura de las aspas | | | | | X |

*Fuente: Elaboración propia.*

A continuación, se detallan las medidas para evitar colisión de aves y murciélagos:

### a) Detención programada de turbinas

La detención programada de turbinas se plantea como una de las medidas más efectivas para disminuir o evitar la colisión de aves y murciélagos en los parques eólicos (SAG, 2015; Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía, 2022c). Esta medida consiste en detener las turbinas por períodos acotados de tiempo durante eventos tales como migración de aves o murciélagos, movimientos diarios desde sitios de alimentación o eventos puntuales de agregación de aves. La detención puede ser asistida por observadores en terreno, radares y/o cámaras de alta definición. Actualmente existen sistemas de detección con cámaras que han resultados ser efectivos para aves de gran tamaño como las águilas en horario diurno (McClure *et al.,* 2022) y se han desarrollado sistemas mixtos de cámaras y radares que resultan ser efectivos en horario diurno y nocturno [11]. La efectividad de esta medida varía dependiendo de las especies a la cual se dirigen, siendo particularmente efectiva para aves de gran tamaño, alcanzando valores de reducción de mortalidad del 61,7% para rapaces y cigüeñas hasta el 92,8% para buitres (Ferrer *et al*., 2022).

[11] https://www.dhigroup.com/technologies/muse

### b) Aumento de la velocidad de arranque (*curtailment*).

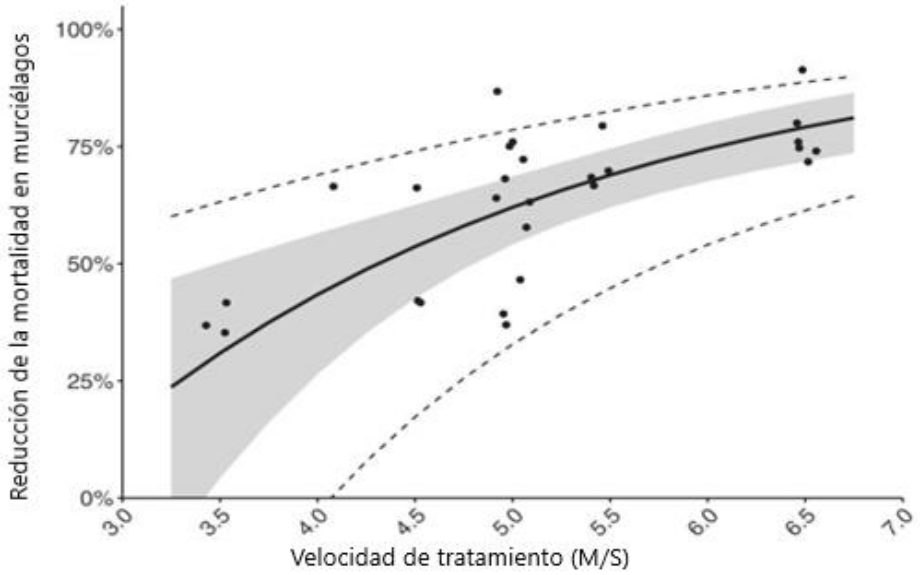
Se ha propuesto la implementación del aumento de la velocidad de arranque como una estrategia efectiva para disminuir significativamente la mortalidad de murciélagos en instalaciones de energía eólica (Arnett et al., 2011; Martin et al., 2017). Esta medida consiste en reducir o detener la rotación de los rotores cuando la velocidad del viento se encuentra por debajo de un umbral preestablecido.

Las turbinas eólicas operan con una velocidad mínima de viento necesaria para generar electricidad, denominada **velocidad de arranque**. Por encima de esta velocidad limita la rotación de los rotores en momentos en que normalmente se produciría electricidad, mientras que la velocidad por debajo de la velocidad de arranque evita que los rotores giren a velocidades peligrosas para la fauna, incluso cuando las turbinas aún no están generando energía. Esta técnica genera una pérdida mínima de producción energética.

En 2015, los operadores de energía eólica en Estados Unidos adoptaron una medida progresiva al emitir una práctica recomendada para implementar el *curtailment* de las palas por debajo de la velocidad de arranque durante la temporada de migración otoñal, siempre que las temperaturas superen los 10°C (50°F) y sea financieramente viable (American Clean Power, 2015). No obstante, esta práctica aún no ha sido adoptada como un estándar obligatorio en el sector.

Una revisión reciente sobre la efectividad de esta medida en Estados Unidos encontró que la reducción de la mortalidad de murciélagos estuvo asociada positivamente con el aumento de la velocidad del viento de reducción en las instalaciones de energía eólica (Whitby *et al.,* 2024). La eficacia de la minimización operativa fue medible en las circunstancias de los sitios y estudios individuales, y en promedio redujo la mortalidad total en un 33% con cada aumento de 1,0 m/s en la velocidad de reducción (ver Figura 13). La mortalidad total promedio de murciélagos en las instalaciones y los períodos de tiempo se redujo en un 62% (IC del 95%: 54%–69%) cuando la operación de la turbina se redujo por debajo de las velocidades del viento de 5,0 m/s (Whitby *et al.,* 2024).

**Figura 14.** Relación de número de mortalidades y la velocidad del viento




*Fuente: Whitby et al. (2024).*

Reducción de la mortalidad de murciélagos en todas las velocidades de reducción del tratamiento, según el ajuste previsto por el modelo de velocidad. Las líneas punteadas indican el intervalo de confianza del 95 %, mientras que el área sombreada representa el IC del 95 % de la media. Los puntos corresponden a las observaciones del estudio.

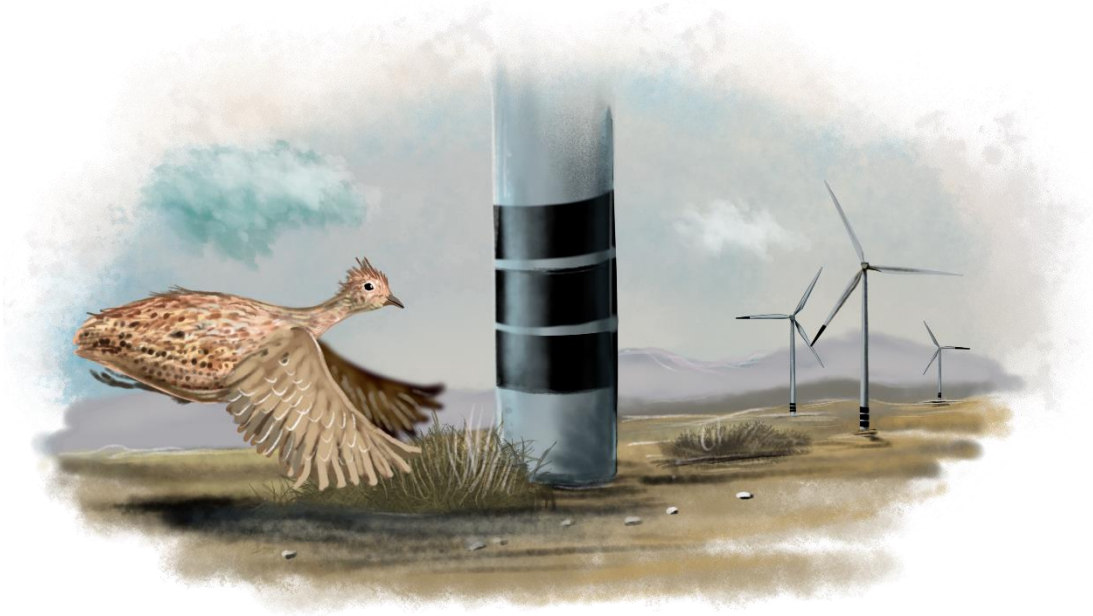
**c) Aumento de la visibilidad de turbinas para aves.**

Además de optimizar los parámetros técnicos del sistema, se pueden implementar medidas que mejoren su visibilidad para las aves. El uso de marcas de color puede proporcionar señales adicionales que les permitan evitar los obstáculos. Por ejemplo, las palas del rotor pueden ser pintadas estratégicamente para disminuir el riesgo de colisiones en esa área (ver Figura 16). Asimismo, se pueden aplicar colores a los segmentos inferiores de la turbina, lo que ayudaría a disuadir a las aves que vuelan cerca del suelo (Dürr, 2011). Dürr (2009), PNL (2012) y Worm (2014) sugieren utilizar codificación por colores en la parte inferior de la torre (ver Figura 15), hasta una altura de entre 15 y 20 metros, para reducir el riesgo de colisiones con los mástiles. Según sus estudios, no se han registrado colisiones en aerogeneradores marcados con color verde. Worm (2014) recomienda específicamente un revestimiento en tonos verdosos, aunque también se pueden considerar otros colores. Sin embargo, se debe evitar el uso de amarillo o naranja, ya que estos tonos podrían parecer más brillantes que el horizonte a las aves, dependiendo de las condiciones meteorológicas y la luz. El revestimiento de color de las palas del rotor también puede servir para mejorar la visibilidad de la torre como obstáculo. Esta medida de pintado de las estructuras debe considerar en Chile la normativa dispuesta por la Dirección General de Aeronáutica Civil.

**Figura 15.** Pintado de aspas y torre para prevenir colisión

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 16.** Pintado de torre para prevenir colisión con aves



*Fuente: Elaboración propia*

**d) Evitar la atracción de especies al entorno de los parques eólicos /modificación del hábitat.**

El objetivo de estas medidas es diseñar el entorno inmediato de un aerogenerador de manera que se evite la atracción de animales, en especial de aves rapaces, reduciendo así el riesgo de colisiones. Según Hötker *et al*. (2005), las aves rapaces tienden a ser atraídas hacia los aerogeneradores debido al aumento o la mayor visibilidad del suministro de alimento como resultado de la construcción de estas instalaciones. En algunos casos, los aerogeneradores pueden crear hábitats favorables al generar barbechos, caminos o zonas de aparcamiento y giro. Mientras que, los pequeños mamíferos, siendo una fuente clave de alimento para las aves rapaces, pueden incrementar la presencia de estas aves en las áreas de riesgo debido a la mayor densidad de presas (Smallwood y Thelander, 2005). Además, estructuras verticales como vallas o mástiles pueden proporcionar sitios de posado, atrayendo aún más a las rapaces (Hötker *et al*., 2005).

En este sentido, las medidas de mitigación para reducir esta atracción pueden combinarse con técnicas para ahuyentar a las aves o con la regulación de las operaciones, y deben ajustarse a las especies objetivo (TU Berlin; FA Wind & WWU Münster (2015)). La mayoría de las directrices recomiendan una gestión coordinada de las áreas alrededor de los aerogeneradores, especialmente en la base del mástil y en los terrenos agrícolas adyacentes. Estas medidas están enfocadas en minimizar el riesgo de colisión para especies vulnerables, especialmente aves rapaces. En el caso del área de la base del mástil, se sugiere implementar un mantenimiento a largo plazo y realizar actividades agrícolas, como la siega o el arado, preferiblemente en invierno. A su vez, es importante mantener la superficie alrededor de la turbina lo más reducida posible y evitar el barbecho, a fin de proteger a los murciélagos y aves. Por tanto, la gestión del cultivo en la zona inmediata a la base debe adaptarse para no atraer a las aves, utilizando arbustos densos que limitan la visibilidad y reducen el atractivo del área como hábitat de alimentación. Además, los cultivos en crecimiento deben plantarse más allá de la superficie directa de la base del mástil para no atraer a especies de aves.

Por tanto, se sugiere que las tierras agrícolas en el parque eólico y sus alrededores sean cultivadas simultáneamente, y que el cultivo dentro del parque se realice después de que las zonas circundantes hayan sido segadas o cosechadas, asegurando que al menos el 75% de la superficie cumpla con esta norma (TU Berlin; FA Wind & WWU Münster (2015)). Se recomienda implementar un diseño poco atractivo en el área de la base del mástil de los aerogeneradores, esto implica que las zonas no utilizadas para la agricultura, como el emplazamiento de la base del mástil, deben cubrirse con hierba alta. Además, las estructuras perimetrales del parque eólico deben ser diseñadas para evitar ser atractivas para los murciélagos. Para lograr esto, es importante cultivar lo más cerca posible de la base del mástil, así como de las zonas de aparcamiento de grúas y caminos, minimizando así la creación de áreas que puedan atraer a estos animales.

Otra alternativa que ha demostrado ser efectiva es la eliminación de carroña, ya que esta actúa como un atractivo para las aves rapaces y/o carroñeras Para implementar esta medida, es necesario establecer un protocolo junto con un monitoreo activo para detectar carcasas tanto dentro como fuera del parque. Además, se recomienda prohibir el acceso de ganado y animales domésticos al área del parque (SAG, 2015; Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía, 2022c).

**e) Disuasores de sonido.**

Desde los primeros estudios sobre colisiones de aves con estructuras energéticas, se han propuesto varios tipos de disuasores, tanto sonoros como visuales, aunque su efectividad sigue siendo objeto de debate debido a que su impacto varía según la especie (European Commission, 2020; Marques *et al*., 2014). Existen disuasores acústicos, electromagnéticos y visuales, los cuales pueden activarse manualmente o mediante sistemas automáticos, como DT Bird, NV Bird, AVES Wind o el sistema de radar Merlin. Mientras que la eficacia de los ultrasonidos (Arnett *et al*., 2013) y la radiación electromagnética (Nicholls y Racey, 2009) sigue en fase experimental, los disuasores acústicos con señales audibles, como las señales bioacústicas, ya se han implementado en algunos parques eólicos europeos (DTBird, 2014).

La selección de un enfoque debe basarse en el tipo de especies presentes, ya que aves y murciélagos reaccionan de manera diferente a los estímulos. Por ejemplo, los ultrasonidos han demostrado ser efectivos para espantar murciélagos (Arnett y Baerwald, 2013), pero no generan respuesta en las aves (Harris y Davis, 1998; Gilsdorf *et al*., 2002). En cambio, los sonidos audibles, especialmente las señales bioacústicas de advertencia, han sido ampliamente investigados y probados para ahuyentar aves (Orloff *et al*., 1992; Harris y Davis, 1998; Smith *et al*., 2011; Riopérez y de la Puente, 2013).

**f) Disuasoras visuales.**

Buscan desencadenar respuestas de huida mediante estímulos que las aves asocian con peligro o amenaza. Sin embargo, el uso de modelos de depredadores, cometas con forma de aves rapaces, globos, cadáveres falsos o reflectores como cintas multicolores no ha mostrado ser efectivo a largo plazo, con cualquier efecto observado siendo temporal y de corta duración (Harris y Davis, 1998).

**g) Disuasores ultrasónicos.**

Los disuasores ultrasónicos para murciélagos en parques eólicos son dispositivos diseñados para emitir sonidos de alta frecuencia que interfieren con la ecolocación de los murciélagos, dificultando su orientación y navegación en las cercanías de las turbinas eólicas. Estos dispositivos, instalados en los aerogeneradores, buscan reducir el riesgo de colisiones con las aspas al disuadir a los murciélagos de volar en áreas peligrosas. Estos disuasores generan ondas sonoras de alta frecuencia (por lo general, entre 20-100 kHz), que están dentro o más allá del rango auditivo de los

murciélagos y actúan interfiriendo con sus sistemas de ecolocación, aunque, no eliminan por completo el riesgo. Estudios de Arnett *et al*., (2013), señalan que la efectividad de los disuasores ultrasónicos para reducir la mortalidad de murciélagos en parques eólicos varía, pero en general se ha observado una disminución en las muertes. Resultados del primer año, se estimó entre un 21% y 51% menos de mortalidad en las turbinas con disuasores en comparación con las de control. En el segundo año, la reducción osciló entre un 18% y 62%, aunque la efectividad estuvo limitada por factores como la distancia y la humedad del aire, que afectan el alcance de los ultrasonidos.

**h) Cambio de textura en las aspas.**

Una de las propuestas más recientes es el cambio de textura en las aspas de las turbinas. Esta idea se basa en la hipótesis de que modificar la superficie de las aspas permitiría a los murciélagos detectarlas más fácilmente, ya que las superficies lisas pueden ser confundidas con fuentes de agua, atrayendo a estos animales (Berthinussen *et al*., 2021; Bienz, 2016; Huzzen, 2019). Esta hipótesis fue probada en un entorno controlado utilizando murciélagos capturados, encontrando que estos tendían a acercarse a superficies lisas similares a las turbinas, sin poder distinguirlas de una fuente de agua. El estudio también mostró que los murciélagos se sentían menos atraídos por superficies con textura (Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía, 2022c).

#### 3.9.2.3 Medidas de reparación

En el caso de medidas de reparación a nivel nacional o internacional por afectación de parque eólicos, en el presente estudio no fue posible identificar este tipo de medidas para aves o murciélagos, dado que hay medidas que no están comprobadas científicamente.

#### 3.9.2.4 Medidas de compensación

Las medidas de compensación descritas están relacionadas con el mejoramiento de hábitats de alimentación o reproducción para especies sensibles como también la creación de áreas de conservación. Cabe destacar que, al ser clases distintas entre aves y quirópteros, requieren de particularidades, como es el caso de zonas de nidificación particulares.

**Mejoramiento de hábitat.**

Mientras que las medidas descritas anteriormente se centran en prevenir la atracción de aves y murciélagos hacia las instalaciones, se implementan estrategias específicas para atraer a estas especies hacia áreas designadas, alejadas de los parques eólicos. Las acciones para atraer aves se integran con medidas de disuasión, siguiendo un enfoque combinado (Cordeiro *et al.*, 2013a).

En términos generales, se pueden clasificar en dos tipos de medidas. En primer lugar, el riesgo de colisión de los individuos puede disminuir mediante la optimización del hábitat natural, promoviendo la reubicación de actividades de cría y caza a zonas distantes de las torres de generación de energía eólica (WTG) (PNL, 2012; KIFL, 2014; Mammen *et al*., 2014). En segundo lugar, se pueden implementar acciones adicionales, como la creación de sitios artificiales de nidificación (Meschede *et al*., 2002) o la provisión de alimentos a través de comederos en áreas más amplias (Camiña, 2011), con el fin de alejar a los animales de los parques eólicos.

La literatura internacional detalla diversas prácticas para proteger especies como el águila real (Walker *et al*. 2005; Paula *et al.* 2011) y el cernícalo vulgar (Cordeiro *et al.* 2013a). La mejora del hábitat, como el clareo de la vegetación alejada de aerogeneradores, puede beneficiar a estas aves al mejorar su visión del suelo y facilitar la caza. Por ejemplo, en Escocia, se realizó la eliminación parcial de árboles en un área reforestada para favorecer a una pareja de águilas reales, lo que

resultó en un aumento del avistamiento en la zona tratada (Walker *et al*. 2005). Asimismo, en el norte de Portugal, medidas de gestión para fomentar la población de conejos, creando refugios y lugares de alimentación, llevaron a que parejas de águilas reales se alejaran de líneas eléctricas hacia áreas más seguras (Paula *et al.* 2011). Para el aguilucho cenizo, se recomienda mantener suficientes zonas de cría no urbanizadas con vegetación adecuada (Grajetzky *et al*. 2010; 2014; Lindeiner 2014). La mejora del hábitat se considera la medida de evitación más adecuada para el búho real, además de mantener distancias seguras con los hábitats de cría (Breuer *et al*. 2015). También se pueden crear zonas de forrajeo fuera de los parques eólicos, como praderas extensas y barbechos, que guíen a las aves y las mantengan alejadas de los aerogeneradores. Un estudio en Escocia mostró un aumento del uso de hábitats por aguiluchos pálidos del 32 % al 42 % tras la mejora del entorno (Robson 2011). Además, se ha observado que las estructuras acuáticas y los setos favorecen la actividad de caza de murciélagos (Ahlén *et al.* 2009; Furmankiewicz y Kucharska 2009; Kelm *et al*. 2014), sugiriendo que la instalación de tales estructuras lejos de los aerogeneradores podría ofrecer un hábitat adicional para estos animales, sin que se haya encontrado evidencia de que se distraigan del parque eólico.

Respecto a las medidas de mitigación, es posible que no eliminen por completo la mortalidad de murciélagos, lo que hace necesario aplicar enfoques múltiples y complementarios para reducir los efectos a largo plazo, especialmente ante el rápido crecimiento en la construcción de aerogeneradores. Las acciones compensatorias, como la restauración y creación de hábitats para refugio y alimentación (**Figura 17**), pueden ayudar a gestionar los impactos de estos proyectos; sin embargo, es poco probable que por sí solas logren compensar completamente la mortalidad directa. Es necesario profundizar en la investigación de compensaciones efectivas para mitigar, al menos parcialmente, la mortalidad de murciélagos (Voigt *et al*., 2024).

**Figura 17.** Creación de áreas de forrajeo para murciélagos dependiendo de los hábitos de vuelo de las especies

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.9.3 Compromisos ambientales voluntarios para parques eólicos y líneas de transmisión eléctricas

En relación con el artículo 18 del RSEIA, se identifica que las DIA pueden presentar Compromisos Ambientales Voluntarios (CAV) los cuales no son requeridos por ley, pero permiten hacerse cargo de aquellos impactos no significativos declarados por el titular. En este sentido, a continuación, se proponen algunos CAV:

**a) Disuasores ultrasónicos.**

Los disuasores ultrasónicos son dispositivos que emiten sonidos en frecuencias que son inaudibles para el oído humano, pero que pueden ser percibidos por los murciélagos estos dispositivos se instalan en la parte exterior de la góndola (*nacelle*), generando un ambiente sonoro que resulta desagradable o confuso para estos animales, llevándolos a evitar las áreas cercanas a las turbinas. Al interferir en sus patrones de comunicación y navegación, los disuasores ultrasónicos pueden disuadir a los murciélagos de acercarse a las turbinas, reduciendo así el riesgo de colisiones fatales. Como se ha señalado anteriormente, los estudios han mostrado que los disuasores ultrasónicos pueden ser una herramienta eficaz para disminuir la mortalidad de murciélagos en parques eólicos. Su implementación puede resultar en una reducción significativa en el número de accidentes, lo que no solo protege a estas especies, sino que también contribuye a la sostenibilidad del proyecto. Además, al ser una medida no invasiva, los disuasores ultrasónicos permiten la coexistencia de la energía eólica con la vida silvestre. Es importante destacar que la efectividad de los disuasores ultrasónicos puede variar según la especie de murciélago y las condiciones ambientales. Por ello, es esencial realizar un monitoreo continuo y estudios de impacto para adaptar y optimizar el uso de estas tecnologías. Además, la integración de disuasores ultrasónicos con otras medidas de mitigación, como la modificación de la velocidad de activación de las turbinas en momentos de alta actividad de murciélagos, puede potenciar su eficacia.

**b) Detención programa de aerogeneradores.**

Las detenciones programadas de aerogeneradores cuando se detecta actividad de murciélagos y aves son una medida preventiva clave para reducir la mortalidad de estas especies en parques eólicos. Este enfoque se basa en el monitoreo constante de la actividad de fauna en áreas cercanas a los aerogeneradores, utilizando tecnología como radares, cámaras infrarrojas y detectores acústicos. Cuando se registra una alta presencia de murciélagos o aves, especialmente durante momentos críticos como la migración, el período reproductivo o cuando las condiciones meteorológicas que aumentan el riesgo de colisión, los aerogeneradores se detienen temporalmente. Estas paradas son planificadas de forma estratégica para minimizar la producción de energía perdida, pero garantizar la protección de las especies vulnerables. El protocolo incluye la identificación de momentos de mayor riesgo, como las noches sin viento o con viento débil para los murciélagos, y los periodos de paso migratorio para las aves. Durante estos periodos, se puede programar la reducción de la velocidad de las aspas o la parada completa de los aerogeneradores en función de los datos recogidos en tiempo real.

**c) Actividad a la altura de la góndola (*nacelle*).**

El monitoreo de murciélagos a la altura de la *nacelle* en aerogeneradores es esencial para evaluar el riesgo de colisión y estimar la mortalidad de estas especies. Los estudios acústicos desde la *nacelle* permiten captar la actividad de murciélagos dentro del área de barrido del rotor, donde el riesgo de colisiones es mayor (Voigt *et al.*, 2024). Aunque la relación entre actividad acústica y

riesgo de colisión varía según el comportamiento de los murciélagos y las condiciones de cada sitio, este monitoreo es clave para los programas de mitigación, ya que facilita la implementación de medidas como la restricción operativa en periodos de alta actividad, reduciendo así la mortalidad (Voigt *et al*., 2024).

Este tipo de monitoreo proporciona información sobre las condiciones ambientales —como velocidad del viento, precipitación, temperatura y estación del año— en las que se producen picos de actividad. Cruzar estos datos con los resultados de los monitoreos de mortalidad en el área circundante permite interpretar mejor los picos de actividad y mortalidad, lo que contribuye a definir estrategias, como la detención programada de aerogeneradores específicos. Un caso en Chile se está realizando en un parque eólico de la región de la Araucanía, con un sistema llamado Telebat que consiste en la detección de murciélagos en tiempo real, este sistema incluye un micrófono en el exterior de la góndola y un procesador en su interior, capaz de captar ultrasonidos, identificar la especie y enviar la información en tiempo real a una plataforma diseñada para cada parque. En esta plataforma se pueden visualizar estadísticas detalladas por aerogenerador o parque, así como la actividad de distintas especies de murciélagos por noche, semana, mes o año de monitoreo (Myotis, 2024).

**d) Monitoreo de mortalidad.**

Dentro de los compromisos ambientales voluntarios que se han encontrado en bibliografía nacional como internacional se destacan los programas de seguimiento de mortalidades donde se busca identificar el número de individuos y especies que puedan colisionar con las estructuras de un parque eólico y líneas de transmisión eléctrica. Se reconoce que no todos los aerogeneradores causan la misma mortalidad, y algunos, conocidos como "aerogeneradores problemáticos", matan significativamente más fauna. Aunque no se conocen todas las causas de esta mortalidad, es esencial monitorear estos aerogeneradores para reducir su impacto. El plan de seguimiento según Atienza *et al.* (2008), los monitoreos de mortalidad deben comprender:

- Monitoreo inicial: durante los dos primeros años de operación, todos los aerogeneradores deben ser monitoreados para identificar los que causan más mortalidad. Si se encuentra alguno, debe pararse temporal o permanentemente, dependiendo del riesgo.
- Seguimiento continuo: a partir del tercer año, se puede reducir el monitoreo a un porcentaje de los aerogeneradores, pero todos deben revisarse al menos una vez al año para detectar cambios en el patrón de mortalidad.
- Frecuencia de monitoreo: el seguimiento debe ser estacional y realizarse al menos una vez al mes durante toda la vida útil del parque.
- Evaluación de la desaparición y detectabilidad de cadáveres: se debe realizar un estudio para estimar la tasa de desaparición de cadáveres y la capacidad de los observadores para detectar estos cadáveres. Este estudio debe considerar diferentes tamaños de cadáveres y factores estacionales.
- Informes semestrales: los informes deben incluir un resumen de la mortalidad, el número de aerogeneradores revisados, los aerogeneradores con mortalidad, y las especies muertas, especialmente si están incluidas en catálogos de especies amenazadas.
- Difusión de resultados: además de informar a las autoridades competentes, los resultados deben publicarse en una página web para ayudar a reducir el impacto en futuros proyectos.

- Monitoreo específico de murciélagos: se deben usar cámaras infrarrojas, detectores de murciélagos o radares para evaluar el impacto en murciélagos.

**Figura 18.** Búsqueda de colisiones bajo los aerogeneradores

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.9.4 Información relevante para evaluación ambiental en el SEIA

Una vez identificada el área de afectación del proyecto, se procede a recopilar información ambiental clave con varios propósitos: validar el análisis de sensibilidad previo, comprender cómo las aves y murciélagos utilizan el área para evaluar posibles impactos, y disponer de datos preliminares sobre especies y número de individuos presentes. Esta información será fundamental para compararla en estudios posteriores.

Es indispensable contar con un inventario detallado de las especies de aves y murciélagos que habitan o transitan por el área. Este inventario debe incluir no sólo la lista de especies, sino también su abundancia y distribución a lo largo del año, considerando aves que se reproducen en el área de influencia, migratorias, visitantes invernales, entre otras, y aquellas que forman colonias o dormideros. En el caso de los murciélagos, es necesario identificar colonias de cría, refugios, y realizar seguimientos de su actividad mediante detectores acústicos. Estos detectores deben proporcionar un índice de actividad por hábitat y por aerogenerador, cubriendo un radio considerable alrededor del parque eólico (Voigt *et al*., 2024; Stahl & Epe, 2021; de Grijs 2018).

Se recomienda el uso de técnicas como transectos y puntos de escucha para censar la abundancia de aves. La frecuencia de los muestreos dependerá de la complejidad del hábitat y del tamaño del parque. Además, es importante analizar el uso del espacio aéreo por parte de las aves, observando

factores como altura de vuelo, dirección y concentración en las rutas de vuelo, con mapas detallados a escala 1:25.000. En el caso de los murciélagos, se deben utilizar drones o torres para ubicar detectores acústicos a distintas alturas, evaluando así su actividad en relación con la altura de las aspas.

Es crucial entender el uso del espacio que hacen las aves y murciélagos en torno a los emplazamientos de las turbinas. Por ejemplo, la probabilidad de colisión puede variar significativamente dependiendo del tipo de hábitat en el que se instale el parque eólico. Así, las especies pueden tener mayor riesgo en zonas boscosas que en pastizales abiertos. También se debe identificar el uso nocturno del espacio, especialmente en el caso de aves migratorias, y documentar corredores de vuelo.

Para evaluar el uso del espacio aéreo, se deben establecer rutas y líneas de vuelo más frecuentadas, usando observación directa o radares para captar datos más precisos, ya que los observadores humanos pueden detectar sólo un porcentaje limitado del tráfico aéreo. Mediante estos métodos, se pueden crear "cubos aéreos" que definan las zonas más frecuentadas por las aves a diferentes alturas, permitiendo así ubicar estratégicamente los aerogeneradores.

Este tipo de análisis, que debe abarcar las estaciones del año y diversas condiciones climáticas, ayudará a obtener datos sólidos sobre los impactos potenciales del parque eólico y a planificar medidas de mitigación más eficaces.

### 3.9.5 Ajuste de diseño de proyectos y acciones de control

Las acciones de control incluyen el seguimiento continuo de las especies en las fases operativas del proyecto, utilizando tecnologías como radares, cámaras de infrarrojos y detectores acústicos, para monitorear la actividad de aves y murciélagos y evaluar la efectividad de las medidas de mitigación. También se pueden introducir mecanismos de apagado temporal de turbinas durante los picos de actividad migratoria o en horarios nocturnos, cuando los riesgos de colisión son mayores.

El éxito en la reducción del impacto depende de la integración de soluciones innovadoras y ajustadas a las características del lugar, garantizando que las infraestructuras de energía renovable sean compatibles con la conservación de la biodiversidad.

Dentro de las medidas de ajustes de proyectos, varios autores han propuesto diversas opciones para aumentar la visibilidad de las turbinas y alertar a las aves sobre su presencia. Una de estas estrategias es modificar el color de los rotores y la torre (Winkelman *et al*., 2008), ya sea pintándolos con colores llamativos o aplicando patrones distintivos, como franjas en blanco y negro (Drewitt & Langston, 2008). También se ha discutido el uso de pintura ultravioleta o luces (Marques *et al*., 2014).

Otro mecanismo de ajuste de diseño que ha sido bastante descrito en la literatura es el aumento de la velocidad de corte o de arranque de las turbinas. Un ejemplo de ello es la investigación de Rydell *et al*. (2012), en la que se incrementó la velocidad de activación de las turbinas de 4 a 6.5 m/s. Esto resultó en una reducción de la mortalidad de los murciélagos por las turbinas eólicas de entre el 79% y el 90%, con una pérdida de energía de solo el 0.3% al 1% por año. Otro estudio encontró que la mortalidad de una turbina disminuye entre el 44% y el 93% con una velocidad de activación de 5 m/s (Arnett *et al*., 2010). Sin embargo, Arnett *et al*. (2013a) revisaron diferentes estudios sobre la velocidad de activación y concluyeron que, en la mayoría de ellos, se observó una reducción de al menos el 50% en las fatalidades al aumentar la velocidad de activación en 1.5 m/s, con un estudio que incluso reportó una reducción del 93%. No obstante, aumentar la velocidad de activación a 6.5 m/s no reduce la mortalidad más allá de lo observado con la velocidad de 5 m/s (Nyári *et al*., 2015).

## 3.10 Indicadores de cumplimiento y frecuencias de aplicación

Los indicadores de cumplimiento deben estar definidos para cada tipo de proyecto en particular y deben considerar la información obtenida durante el desarrollo de la línea de base del proyecto. En general, en los proyectos a nivel nacional revisados para este estudio, los indicadores comprometidos son valores obtenidos de revisiones bibliográficas internacionales que no se asocian a la realidad nacional y a las particularidades de cada proyecto, por lo que probablemente se encuentran sobreestimados. Esto es extrapolable a ambos tipos de proyectos, y es más notable cuando los indicadores son construidos en base al número de turbinas, extensión de tendido y sobre todo a valores anuales (Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía, 2022c). Por otra parte, algunos proyectos definen valores arbitrarios del número de individuos de determinada especie presente en el área de influencia del proyecto o una determinada tasa de mortalidad de aves y/o murciélagos al año (ver Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía, 2022c).

Los valores más adecuados para un indicador de efectividad de las medidas ambientales descritas en este estudio, debiese ser una determinada tasa de mortalidad al año, ya sea por aerogenerador o por km/tendido/año. Para esto se pueden proponer valores asociados a la abundancia de individuos registrada en la línea de base o un porcentaje de la abundancia. En países como España, en la Comunidad autónoma de Aragón, se propone una determinada cantidad de individuos por año para parques eólicos, pero esto también se podría utilizar en Líneas de Transmisión debido a que el impacto es el mismo: pérdida de individuos de una especie.

En el caso de aves, se propone considerar que la vulnerabilidad será media si se supera para estos grupos el umbral de las 15 colisiones/año y alta si se superan las 20 colisiones/año, como se exponer en la **Tabla 30**. Esta es una recomendación general, ya que dependerá también del estado de conservación u otras variables sobre la vulnerabilidad de las especies afectadas.

Para el caso de los murciélagos, se considerará un aerogenerador de alta vulnerabilidad y, por tanto, peligroso aquel en el que se detecte una mortalidad superior a los 10 individuos de cualquier especie por año.

El seguimiento adecuado de cualquier indicador es esencial. Es crucial estandarizar el esfuerzo de muestreo o la frecuencia de las campañas para garantizar que se cumpla con los indicadores comprometidos. Un esfuerzo insuficiente puede llevar a subestimar el impacto real en las especies animales afectadas por los proyectos. Los monitoreos deben considerar variables como la detección de carcasas, la accesibilidad a los sitios de observación y las diferencias ambientales, como el tipo de vegetación, la variabilidad estacional y las condiciones climáticas. Además, es necesario complementar este proceso con experimentos de remoción de carcasas por carroñeros y estudios de detectabilidad, los cuales son fundamentales para estimar con mayor precisión la mortalidad real de especies e individuos afectados por proyectos eólicos o de transmisión eléctrica. Un ejemplo de frecuencias de búsqueda de carcasas, estudios de remoción y detectabilidad, además de monitoreos se presenta en la Tabla 31.

**Tabla 30.** Vulnerabilidad según número de colisiones en aves.

| Grado de vulnerabilidad | Número de colisiones por año | Grupo | Ejemplos de especies |
|---|---|---|---|
| Alta | 20 | Accipitriformes, Falconiformes Strigiformes | Águilas, halcones, búhos y lechuzas |
| Media | 15 | Anseriformes, Podicipediformes, Ciconiformes y Phoenicopterifomres | Patos, hualas, cigüeñas y flamencos etc. |
| | | Gaviiformes, Procellariformes y Pelecaniformes | Pelicanos, Petreles, golondrinas de mar, albatros, Yuncos etc. |
| | | Charadriiformes | Queltehues, chorlos, pilpilenes, perdicitas etc. |
| | | Gruiformes | Pidenes, pidencitos, taguas, tagüitas |
| | | Caprimulgiformes | Gallinas ciegas |
| Baja | 10 | Galliformes | Codornices |
| | | Columbiformes | Palomas, torcazas, tortolas |
| | | Paseriformes y afines | Zorzales, golondrinas, loicas, mirlos etc. |
| | | Cuculiformes, Apodiformes, Coraciiformes y Piciformes | Matacaballos, picaflores, Martin pescador, carpinteros, carpinteritos, pitíos. |

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 31.** Indicadores de cumplimiento y frecuencias de aplicación

| Tipo de monitoreo | Duración | Área de muestreo | Frecuencia | Objetivo |
|---|---|---|---|---|
| **Monitoreo de Mortalidad** | | | | |
| Búsqueda de carcasas | 3 años post-construcción | Registro de mortalidad: Áreas sensibles detectadas en la evaluación (zonas de agregación de aves, colonias reproductivas, humedales), idealmente recorrer todas las áreas sensibles que cruza la LTE. Áreas no sensibles, recorrer al menos el 20% de la extensión de la LTE.<br>En parques eólicos se sugiere revisar todos los aerogeneradores o los que se hayan definido como riesgoso en base a algún modelo de riesgo. | Todas las especies de aves: búsquedas semanales por al menos 4-6 semanas durante las 4 estaciones del año. Especies sensibles: temporada de ocurrencia de la especie (ej: migratorias), búsquedas bi-semanales o mensuales en los periodos no cubiertos por la búsqueda de todas las especies. | Tasa de mortalidad |
| Efectividad de las medidas (disuasores, sistemas antipercha, etc.) | 3 años post-construcción | | | Reducción del riesgo de colisión (n° de mortalidades/tasa de cruce de aves) |
| Estudios de remoción de carcasas | 1 año post-construcción | Se deben seleccionar los mismos tramos utilizados para la búsqueda de carcasas.<br>Se deben muestrear los hábitats de mayor extensión por los que cruza la LTE.<br>En parques eólicos se sugiere seleccionar una muestra de aerogeneradores que sea representativa de los ambientes al interior del parque. | Todas las estaciones del año | Tasa de mortalidad |
| Recorridos de detección de carcasas | 1 año post-construcción | Se deben seleccionar los mismos tramos de la LTE o aerogeneradores utilizados para la búsqueda de carcasas. Los recorridos deben ser distribuidos en base las diferencias de visibilidad basadas en la altura y cobertura de la vegetación. | Los recorridos deben realizarse al menos una vez durante cada una de las estaciones de año. | Tasa de mortalidad |
| **Abundancia de registros** | | | | |
| Conteos de aves cruzando la LTE o parques eólicos | 3 años post-construcción incorporando el mismo periodo utilizando para la búsqueda de carcasas | Tramos del tendido seleccionados para la búsqueda de carcasas (se deben incluir tramos con y sin disuasores).<br>En parques eólicos deben seleccionarse puntos de observación que permitan cubrir una muestra representativa de los aerogeneradores | Todas las estaciones del año | Efectividad de los disuasores de aves o dispositivos anti-colisión. |
| Conteos de aves cruzando la LTE o parques eólicos | 1 año pre-construcción y 3 años post-construcción | Sectores de la LTE o parque eólico que son cruzados por las especies objetivo o hábitats utilizados para el forrajeo, descanso o nidificación | Estaciones del año en que se encuentran presentes las especies objetivo | Efecto barrera |
| Censo de aves sensibles | 1 año pre-construcción y 3 años post-construcción | Muestreo en tramos del tendido con distintos ambientes vs áreas control o muestreo en gradientes de distancia a la LT hasta 2 km | Estaciones del año en que se encuentran presentes las especies objetivo | Desplazamiento de especies |

*Fuente: Elaboración propia.*

Cabe destacar que dentro de las obligaciones ambientales que actualmente se están solicitando en la legislación chilena se encuentra presentar un plan de seguimiento de las variables ambientales tanto para las DIA como en los EIA, que tiene por finalidad asegurar que las variables ambientales relevantes que fueron objeto de evaluación ambiental evolucionan según lo proyectado, considerando el cambio climático. En caso de corresponder, se deberá incorporar en el plan las medidas, condiciones, exigencias, y/o acciones de control que se adoptarán para verificar que no se generen impactos significativos, según lo indicado en el artículo 105 del D.S N°40/2012 con la modificación introducida a través del D.S N° 30/2024 del MMA.

## 3.11 Acciones alternativas en caso de incumplimiento

La gestión ambiental en proyectos de energía eólica es fundamental para garantizar la sostenibilidad y minimizar los impactos negativos sobre la fauna y los ecosistemas. En el caso de detectar incumplimientos ambientales, es esencial actuar de manera rápida y eficaz para corregir las deficiencias y evitar daños mayores. Para el caso de Chile, cuando se ejecuta un proyecto y las variables evaluadas contempladas en el plan de seguimiento, no se comporta como lo estipulado en la RCA, es posible revisarlas según el artículo 25 quinquies de la ley 19300, todo ello con el objeto de adoptar las medidas necesarias para corregir dichas situaciones.

En este contexto, a continuación, se proponen algunas medidas abordadas en caso de desviación de las variables ambientales, obtenidas de casos en España reportadas en la página web de la Sociedad Española de Ornitología (SEO).[12]

- Monitoreo continuo. Implementar sistemas de monitoreo ambiental que permitan detectar de manera temprana cualquier desviación de las normativas establecidas. Esto incluye el uso de tecnología avanzada como radares, cámaras infrarrojas y detectores acústicos para supervisar la actividad de aves y murciélagos alrededor de los aerogeneradores.
- Auditorías ambientales. Realizar auditorías periódicas para evaluar el cumplimiento de los compromisos ambientales. Estas auditorías deben ser llevadas a cabo por personal calificado y, de ser posible, por entidades externas independientes.
- Informe inmediato. Ante la detección de un incumplimiento, se debe elaborar un informe detallado que describa la naturaleza del problema, las posibles causas y el impacto ambiental observado.
- Parada temporal de aerogeneradores. Si se identifica que ciertos aerogeneradores son responsables de una alta mortalidad de fauna (conocidos como "aerogeneradores problemáticos"), proceder a su parada temporal para evitar más impactos hasta que se realicen las correcciones necesarias.
- Reubicación o desmantelamiento. Evaluar la posibilidad de reubicar los aerogeneradores que presentan mayores riesgos o, en casos extremos, desmantelarlos completamente, como se está gestionando en el nudo eólico de Villameca.
- Ajustes de diseño. Realizar modificaciones en el diseño de los aerogeneradores, como cambiar el color de las aspas, instalar dispositivos de detección de fauna o ajustar la altura y ubicación de las turbinas para minimizar las colisiones.

[12] Sociedad Española de Ornitología [en línea] https://seo.org/se-inician-los-tramites-para-desmantelar-varios-aerogeneradores-en-el-nudo-eolico-de-villameca/

- Ampliación del seguimiento. Incrementar la frecuencia y la cobertura del monitoreo ambiental para asegurar que las medidas correctivas están siendo efectivas y que no se presentan nuevos incumplimientos.
- Capacitación del personal. Proveer formación continua al personal encargado del monitoreo y la gestión ambiental para mejorar la detección y respuesta ante posibles incumplimientos.
- Aplicación de multas. En caso de incumplimientos graves, se deben aplicar las sanciones previstas por la legislación ambiental vigente, incluyendo multas económicas y, si es necesario, la suspensión de actividades.
- Responsabilidad legal. Asumir la responsabilidad legal por los daños causados, incluyendo la reparación de hábitats afectados y la compensación a las autoridades o comunidades afectadas.

### 3.11.1 Acciones requeridas por incumplimiento de indicadores

En el caso de que se exceda el indicador de cumplimiento propuesto para las medidas ambientales o compromisos voluntarios propuestos para el proyecto, se deberán aplicar medidas correctivas o de mejoramiento de estas para reducir las mortalidades, las cuales se proponen a continuación:

- En caso de exceder el indicador de cumplimiento asociado a colisiones en aerogeneradores. Se detendrá el aerogenerador únicamente para, en caso necesario, poder resolver alguna situación concreta que haya podido producir la colisión registrada. Sin embargo, deberá realizarse el correspondiente análisis del accidente, así como la adopción de medidas preventivas y correctoras adicionales, y la instauración de un seguimiento específico de ese aerogenerador por un periodo mínimo de 3 años.
- En el caso de las LTE. Realizar un análisis del accidente, así como la adopción de medidas preventivas y correctoras adicionales, y la instauración de un seguimiento específico del tramo en donde se excedió el indicador por un periodo mínimo de 3 años.
- La identificación de tramos de la LTE o aerogeneradores peligrosos se llevará a cabo mediante el estudio de la mortalidad de individuos por comunidad biológica de aves y murciélagos con mayor riesgo de colisión a lo largo del periodo de 3 años de seguimiento específico, conforme a la vulnerabilidad de cada uno de los grupos faunísticos, estimándose como tramos de la LTE o aerogeneradores peligrosos aquellos que se cataloguen como de vulnerabilidad alta o media. Durante este periodo se revisarán y se ampliarán los estudios previamente realizados y se revisará el funcionamiento y la eficacia de las medidas preventivas y correctoras adicionales que se hayan puesto en marcha. Este periodo de un año podrá ampliarse en caso de no poder concluir durante él los análisis necesarios.

## 3.12 Propuesta sobre medidas ambientales, indicadores y frecuencias

### 3.12.1 Propuesta de medidas de mitigación para aves y murciélagos

### Medidas:

- Modificación del diseño del parque eólico para evitar ubicaciones clave de rutas migratorias y áreas de alta concentración de aves y murciélagos. Este ajuste implica evitar la instalación de aerogeneradores en ubicaciones que coincidan con rutas

migratorias o áreas donde se concentran estas especies. La identificación temprana de estas zonas a través de estudios previos es esencial para minimizar los riesgos de colisión y perturbación. Alrededor de estas áreas críticas, el diseño debe incorporar zonas buffer o exclusión y ajustar la distribución de los aerogeneradores, favoreciendo así la conectividad de los corredores de vuelo y el uso seguro del hábitat.

- Uso de tecnologías de radar y cámaras para detectar la presencia de aves en tiempo real y detener las turbinas si es necesario. La incorporación de tecnologías de radar y cámaras permite detectar en tiempo real la presencia de aves en las cercanías del parque eólico. Estos sistemas de monitoreo continuo activan paradas temporales de turbinas cuando se aproxima fauna, reduciendo significativamente el riesgo de colisiones. Además, el uso de inteligencia artificial para el reconocimiento de especies ayuda a optimizar las intervenciones, enfocándose en aves en mayor riesgo. Esta tecnología avanzada permite un monitoreo preciso y adaptable, promoviendo una operación del parque que es compatible con la biodiversidad local.
- El ajuste de la velocidad de corte de los aerogeneradores (cut-in speed) es una medida eficaz para reducir la mortalidad de murciélagos en parques eólicos. Al aumentar la velocidad mínima a la que las turbinas comienzan a girar, se disminuye la actividad durante periodos de mayor riesgo, como la noche y las temporadas migratorias. Este ajuste es particularmente útil en condiciones de baja velocidad de viento, cuando los murciélagos están más activos. La medida permite disminuir las colisiones sin afectar significativamente la producción de energía.
- La implementación de corredores biológicos y áreas de exclusión es una estrategia para reducir las colisiones de aves y murciélagos en parques eólicos. Estos corredores permiten que la fauna se desplace de manera segura, manteniendo rutas naturales sin obstáculos. En zonas críticas, se establecen áreas de exclusión donde no se instalan aerogeneradores, disminuyendo la probabilidad de interacción directa entre las especies y las turbinas. Esta medida, basada en el análisis del comportamiento de vuelo y las rutas migratorias.
- Desactivación temporal de aerogeneradores en condiciones meteorológicas específicas (baja velocidad de viento y alta actividad de murciélagos), es una medida efectiva de mitigación en parques eólicos. Durante noches con poco viento, cuando los murciélagos tienden a estar más activos, detener las turbinas temporalmente reduce el riesgo de colisiones. Este enfoque adaptativo permite que el parque eólico opere de manera flexible, minimizando su impacto en la fauna y adaptándose a las condiciones que presentan mayor riesgo para las especies, en particular durante temporadas migratorias.
- Entrenamiento de perros para la búsqueda de carcasas y monitoreo post-construcción. Estos animales, con su agudo sentido del olfato, facilitan la detección precisa y rápida de aves y murciélagos afectados en el área de estudio, permitiendo una evaluación confiable de la mortalidad. Este método mejora la eficiencia del monitoreo en comparación con las búsquedas humanas, aportando datos valiosos para ajustar y optimizar las medidas de mitigación implementadas, y asegurando una gestión ambiental basada en evidencia.
- El monitoreo acústico continuo mediante detectores de ultrasonidos permite registrar la actividad de murciélagos en tiempo real en parques eólicos. Estos dispositivos especializados capturan sonidos de alta frecuencia que indican la presencia de murciélagos, especialmente en condiciones de alto riesgo como las noches y épocas de migración. Con esta información, la operación de las turbinas se puede ajustar de

inmediato, por ejemplo, aumentando la velocidad de corte o deteniendo temporalmente las turbinas en momentos de mayor actividad.

- La disuasión acústica es una medida experimental que busca reducir el riesgo de colisiones de murciélagos en parques eólicos. Utilizando dispositivos que emiten sonidos en frecuencias específicas, se intenta desviar a los murciélagos de las áreas cercanas a las turbinas. Este método aprovecha la sensibilidad auditiva de los murciélagos, creando una “zona incómoda” que los mantiene alejados sin afectarlos directamente.

### Indicadores:

- Frecuencia y duración de las pausas en las turbinas (en relación con los periodos de alta actividad de murciélagos).
- Número de aves registradas mediante sistemas de radar y cámaras.
- Conocer efectivamente el número de registros acústicos para murciélagos por especie, y censos de aves antes y después de implementar las medidas.
- Establecer tasas de mortalidad por colisión detectadas en el monitoreo post-construcción, de manera de poder límites razonables de colisiones dependiendo de las características del ensamble local de aves y murciélagos levantado durante los estudios pre y post construcción.

### Frecuencias:

- Monitoreo acústico: continuo durante todo el año, con análisis mensual de la actividad por aerogenerador.
- Monitoreo de carcasas: debe realizarse con una frecuencia de dos a tres días durante cuatro semanas por estación, durante los primeros tres años de funcionamiento. Esto permitirá evaluar la eficacia de las medidas y hacer ajustes según los resultados del monitoreo. Después de los tres años iniciales, el monitoreo continuará con una frecuencia mensual y se mantendrá durante toda la vida útil del parque.
- Evaluación de efectividad: trimestral durante los primeros tres años para ajustar las medidas.

## 3.12.2 Propuesta medidas de compensación para aves y murciélagos

### Medidas:

- Restauración de hábitats degradados y creación de nuevas áreas de refugio para murciélagos y aves (ej. plantaciones de árboles nativos e instalación de casetas para rapaces y murciélagos). El indicador para esta medida es la superficie de hábitat restaurado o creado.
- Seguimiento de hábitats: análisis anual para evaluar la efectividad de las áreas restauradas o creadas en base a la presencia y ocupación de especies objetivo del área restaurada.

### 3.12.3 Seguimiento ambiental y evaluación de impacto para aves y murciélagos

#### Medidas:

- Implementación de un plan adaptativo para ajustar las medidas con base en los resultados de monitoreo y la evidencia científica más reciente.
- Inclusión de un sistema de certificación para asegurar la calidad del monitoreo (por ejemplo, certificaciones de profesionales y técnicas utilizadas).
- Implementación de indicadores claros y específicos de cumplimiento para cada una de las medidas propuestas.

#### Indicadores:

- Proporción de turbinas con medidas implementadas adecuadamente (ajuste de velocidad, detección de aves/murciélagos).
- Tasa de mortalidad de aves o murciélagos. Este valor se puede modificar en base a los monitoreos de mortalidad de los primeros 3 años.
- Calidad y frecuencia de los informes de monitoreo entregados (cumplimiento con los estándares nacionales e internacionales).
- Eficacia del plan adaptativo basado en la reducción de colisiones documentadas.

#### Frecuencias:

- Monitoreo de implementación: Revisión semestral de la efectividad de las medidas y ajustes con base en los resultados de monitoreo.
- Informes: Trimestrales para los primeros dos años de operación, anuales después de ese periodo si no se detectan valores superiores a los propuestos como indicadores.

## 3.13 Talleres participativos y reuniones con Red LASEIA

Para la obtención de experiencias comparadas y a modo de presentación de resultados preliminares se convocó a talleres en formato presencial e híbrido, a los que se invitó a especialistas en fauna, titulares de proyectos de energía y asociaciones gremiales, y a servicios públicos. Estos talleres se realizaron en dos momentos del estudio. En el primer conjunto de talleres se abordaron los criterios de significancia y en el segundo, se abordaron propuestas de medidas y medios de seguimiento. Todos los talleres permitieron obtener retroalimentación sobre las ventajas y desafíos de las propuestas presentadas, desde distintas ópticas relacionadas con el diseño y evaluación de proyectos eólicos y de transmisión.

Adicionalmente, fue posible realizar una reunión con la Red LASEIA, la cual vela está conformada por entidades gubernamentales de América Latina que ejercen funciones de evaluación de impacto ambiental de proyectos de inversión en los países que representan.

A continuación, se presentan los principales resultados:

### 3.13.1 Talleres sobre criterios de significancia de impactos de energía para aves y murciélagos

El primer taller “Criterios para la Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos Eólicos y de Transmisión Eléctrica sobre Aves y Murciélagos” se llevó a cabo de manera presencial el jueves 8 de agosto en el Ministerio de Energía, con la participación de representantes de servicios públicos, especialistas en fauna, empresas y gremios del sector energético. Este evento fue complementado por dos talleres en formato online para considerar representación regional, realizados los días 3 y 5 de septiembre, en los cuales se abordaron los mismos temas, específicamente para gremios y servicios públicos.

El objetivo central del taller fue recoger perspectivas y aportes de los participantes sobre criterios e índices relevantes para la evaluación de impacto ambiental de proyectos energéticos (eólico y transmisión eléctrica) sobre aves y murciélagos. Los resultados de esta instancia permitirán contribuir a la elaboración de criterios estandarizados que apoyen una gestión ambiental más efectiva para estos proyectos.

El taller estuvo dividido en dos partes. En la primera, se presentaron los criterios de evaluación ambiental para proyectos eólicos y líneas de transmisión eléctrica utilizados en la Comunidad Europea, España y Países Bajos, tanto para aves como para murciélagos. En la segunda parte, se discutieron los índices de sensibilidad desarrollados en el capítulo 3.7 de este estudio. Cada índice fue evaluado de forma independiente, con instancias de discusión y comentarios sobre las herramientas de evaluación presentadas.

Las evaluaciones se realizaron mediante la plataforma Menti, que permitió a los asistentes enviar sus respuestas en tiempo real tras cada presentación. No fue posible realizar un análisis estadístico de las tendencias, ya que las opiniones se expresaron de forma verbal o en textos que recogían las apreciaciones de los participantes. Sin embargo, se identificaron ciertas tendencias, las cuales se detallan a continuación para cada uno de los índices presentados:

## Índice MGI.

- Robustez del índice, pero con limitaciones de aplicabilidad: el índice es considerado metodológicamente robusto, pero su aplicación es limitada por la falta de información básica sobre especies y territorios.
- Falta de información y estudios locales: existe consenso sobre la insuficiencia de datos en Chile para aplicar el índice de manera efectiva. Se destaca la necesidad de recopilar más información biológica, poblacional y conductual, así como estudios sobre distribución y hábitat de las especies.
- Desafíos prácticos y contexto específico de Chile: se identifican dificultades para aplicar el índice debido a las características geográficas y la heterogeneidad del hábitat en Chile. Se sugiere que los índices deben adaptarse a la realidad local.
- Propuestas para el desarrollo futuro: se sugiere desarrollar el índice a través de estudios piloto y colaboración entre gobierno, industria, y otros actores, estableciendo líneas de base robustas y promoviendo estudios detallados antes de aprobar proyectos.
- Valor de los criterios, pero aplicabilidad limitada a corto plazo: aunque los criterios son valiosos, no se consideran aplicables a corto plazo por la falta de conocimiento sobre la historia natural de las especies y su riesgo real de colisión.

- Necesidad de estudios de caso y aplicación gradual: se propone realizar estudios de caso y probar el índice con grupos específicos de especies como una forma de validar su utilidad antes de su implementación amplia.

## Índice RSI.

- Aplicabilidad inmediata, pero dependiente de la calidad de los datos: este índice es visto como más sencillo y potencialmente más rápido de aplicar, pero depende de la adecuada recolección de datos, la frecuencia de las campañas, y la duración total del monitoreo.
- Viabilidad en el contexto chileno, con ciertas condiciones: es considerado más fácil de aplicar en Chile, especialmente en regiones con desarrollo eólico avanzado donde ya existen datos. Sin embargo, requiere campañas de campo intensivas y datos confiables.
- Potencial para ordenar y priorizar zonas sensibles: se percibe como una herramienta útil para crear mapas de ordenamiento territorial que identifiquen zonas sensibles para el desarrollo de proyectos eólicos, facilitando la planificación estratégica.
- Limitaciones y requerimientos para su implementación: aunque es más viable que otros índices, enfrenta obstáculos como brechas de información y falta de recursos o capacidades en los funcionarios. También se necesita estandarizar y validar las metodologías de recolección de datos.
- Recomendaciones para su optimización: se sugiere crear cuadrículas para especies clave en áreas de desarrollo eólico y realizar análisis "ex-post" basados en informes entregados por los titulares de los proyectos.

## Índice SSS.

- Simplicidad y facilidad de aplicación: el índice es valorado por su simplicidad y facilidad de uso, aunque se reconoce que esto puede limitar su utilidad al no integrar adecuadamente otras variables o al enfocarse en especies específicas.
- Utilidad para la creación de mapas de sensibilidad: es visto como útil para generar mapas de sensibilidad o de calor, que podrían ayudar a identificar áreas sensibles o saturadas con proyectos eólicos, facilitando la planificación y toma de decisiones.
- Limitaciones debido a la falta de información de base: la aplicabilidad del índice es limitada por las brechas de información de base existentes, y se sugiere complementar con datos más robustos y completos.
- Aplicación condicional: puede ser aplicable bajo ciertas condiciones, como contar con buena información de terreno o usarlo como un punto de partida básico para una evaluación más detallada.
- Preferencia por la simplicidad, pero con la necesidad de complementación: aunque es percibido como el más adecuado para la situación en Chile, debe ser complementado con métodos de evaluación más cuantitativos y con una caracterización precisa basada en datos cuantitativos de línea de base.
- Críticas a su alcance limitado: algunos comentarios expresan que el índice es demasiado simple y podría excluir a muchas especies, limitándolo como herramienta integral de evaluación de impacto.

### 3.13.2 Talleres sobre medidas y seguimiento

El segundo taller de trabajo sobre “Medidas e Indicadores” se realizó de forma online el día 9 de octubre para los servicios públicos y academia, mientras que el 10 de octubre dirigida específicamente a gremios pertenecientes a la generación de energía eólica, líneas de transmisión eléctricas y gremio que requieren de estos insumos para la producción de vectores energéticos, con el objetivo de profundizar y obtener representación regional en las medidas e indicadores que pueden ser aplicados para la evaluación de impacto ambiental en estos proyectos. Cabe indicar que en el segundo taller sobre este tema, resalta que las respuestas entregadas reflejan diferentes niveles de familiaridad con las medidas para la mitigación del impacto de parques eólicos y líneas de transmisión eléctrica sobre aves y murciélagos. Los resultados se pueden resumir de la siguiente manera:

#### Familiaridad con las medidas para murciélagos.

- Conocimiento de las medidas: varios participantes mencionan estar familiarizados con las medidas mencionadas, aunque en distintos grados. Algunos comentan que las conocen "superficialmente" o que estas "no están consolidadas", lo que sugiere una falta de claridad sobre la efectividad de estas acciones. Otros, por el contrario, se sienten "muy familiarizados" y mencionan tecnologías como cámaras térmicas e infrarrojas para el monitoreo, junto con medidas tradicionales como el mantenimiento de áreas sin vegetación.
- Innovación y experimentación: un tema recurrente es la necesidad de incorporar medidas de investigación o experimentales, aunque la efectividad de estas no esté aún documentada. Este punto refleja una inquietud por generar más información y no limitarse solo a CAV lo que podría ampliar el repertorio de acciones efectivas a largo plazo.
- Compensación: se sugieren ideas novedosas como los criaderos de murciélagos para compensar la mortandad. Esta línea de pensamiento apunta hacia una necesidad de mayor diversidad en las acciones compensatorias más allá de las medidas habituales.

#### Familiaridad de las medidas para aves.

Respecto a las aves se señala que la eficacia del enriquecimiento de hábitat es un desafío importante, donde la medida de enriquecimiento de hábitat no tiene efectividad documentada para ciertas especies en Chile, lo que ha generado rechazo en el SEIA. Este problema refleja la desconexión entre las políticas locales y las soluciones propuestas, lo que limita las opciones disponibles.

- Incertidumbre y planificación: se destaca que no es posible tomar todas las decisiones sin que el parque eólico esté instalado. Esto evidencia un grado de incertidumbre en cuanto a la planificación y ejecución de las medidas de mitigación.
- Desafíos en la implementación: algunos participantes mencionan la falta de preparación profesional, el diseño de muestreo y los estándares de calidad en los informes como obstáculos. Estos factores pueden afectar la calidad de los seguimientos ambientales y, en última instancia, la implementación de medidas de mitigación.

### Desventajas de las acciones o medidas.

- Falta de consolidación: Una desventaja recurrente es que muchas de las medidas no están completamente consolidadas o probadas, lo que genera riesgos operacionales para los proyectos de parques eólicos. Esta falta de evidencia sólida pone en duda la efectividad de las acciones.
- Dificultades logísticas: Se mencionan problemas logísticos como la preparación de profesionales y el diseño de muestreo. Estos factores limitan la capacidad de implementar y monitorear adecuadamente las medidas de mitigación y compensación, además de la falta de estándares claros y certificaciones para asegurar la calidad.

### Ventajas de las acciones o medidas.

- Flexibilidad y aprendizaje: se reconoce que adoptar medidas con un diseño experimental puede ayudar a generar información útil para proyectos futuros. Aunque estas medidas pueden no estar probadas aún, su implementación tiene un valor a largo plazo al contribuir a un cuerpo de conocimiento más amplio.
- Tecnologías avanzadas: algunos participantes mencionan que tecnologías modernas como drones, luces estroboscópicas y disuasión por ruido ofrecen nuevas formas de mitigar los impactos en las aves y murciélagos. Estas soluciones avanzadas aportan herramientas adicionales que podrían ser más efectivas en ciertas situaciones.
- Compensación ajustada al marco regulatorio: se reconoce que algunas de las medidas propuestas, como las de compensación, están alineadas con las guías metodológicas del SEIA, lo que facilita su aceptación en el proceso de evaluación de impacto ambiental.

Las respuestas revelan un conocimiento relativamente sólido de las medidas de mitigación y compensación tanto para murciélagos como para aves, aunque con una clara necesidad de más información y pruebas para muchas de ellas. La implementación de medidas experimentales y tecnologías avanzadas es vista como una oportunidad, pero también un desafío debido a la falta de estudios y certificaciones que respalden su efectividad en contextos locales como Chile. Las limitaciones logísticas, regulatorias y técnicas son obstáculos clave a superar.

### 3.13.3 Reunión con REDLASEIA

El 12 de junio de 2024 se llevó a cabo la reunión inicial del estudio “Identificación de criterios para la evaluación de impacto ambiental de proyectos eólicos y de transmisión eléctrica sobre aves y murciélagos”, organizada por la REDLASEIA y realizada mediante videoconferencia. Asistieron representantes de autoridades ambientales de Chile, Argentina, Colombia, Ecuador, México, Perú, Uruguay y Costa Rica, junto con representantes de GIZ Chile y los consultores de Myotis Chile. Durante la sesión, se presentaron los objetivos generales y específicos del estudio, los cuales incluyen la identificación de criterios y metodologías de evaluación de impacto ambiental en estos proyectos. Además, se compartieron experiencias de países como Uruguay, Argentina, México y Perú en las cuales señalaron las experiencias como país y en los avances en el desarrollo de sus guías de evaluación de impacto en biodiversidad destacando los desafíos en el monitoreo de especies como aves rapaces y murciélagos. En esta reunión además de presentar el comienzo de este estudio, se logró comprometer a algunos países en la entrega de material que podría ayudar a enriquecer el desarrollo de este estudio.

# 4 Conclusiones

El informe destaca la importancia de establecer criterios para la evaluación de impacto ambiental en proyectos eólicos y de transmisión eléctrica, específicamente sobre aves y murciélagos. A través de un diagnóstico nacional e internacional, se han identificado brechas y limitaciones en las metodologías actuales, lo que refuerza la necesidad de mejorar y adaptar las herramientas disponibles al contexto chileno. Este estudio no apunta a entregar información específica como, por ejemplo, la definición de áreas de influencia; aunque son temas relacionados, no forman parte de su objetivo principal.

Entre los principales hallazgos se observa que las metodologías internacionales, como los índices de sensibilidad y mortalidad, son aplicables, pero requieren adaptación a las particularidades geográficas y ecológicas del país. Se reconoce además la falta de información básica sobre las especies locales, como su distribución, historia natural y patrones migratorios, lo que limita la aplicabilidad inmediata de algunas de las herramientas propuestas. Esto genera un requerimiento de conocer aspectos básicos de las especies que se quiere proteger como, por ejemplo: cuáles son las especies que migran y cuáles son sus rutas, sumado a un sistema de monitoreo y recopilación de datos más robusto y estandarizado.

Asimismo, el informe concluye que la estandarización de indicadores de monitoreo y la adopción de tecnologías avanzadas, como cámaras térmicas y radares, son pasos esenciales para mejorar la eficacia de las medidas de mitigación y compensación y deben aplicarse de manera más sistemática en Chile. Se enfatiza también la importancia de implementar planes adaptativos y fomentar la colaboración entre actores gubernamentales, industriales y científicos, para asegurar que las medidas adoptadas sean flexibles y efectivas a largo plazo.

Las experiencias internacionales, especialmente en Europa y Estados Unidos, demuestran que marcos regulatorios más estrictos, monitoreos estandarizados y compromisos claros de conservación son esenciales para minimizar los impactos sobre la fauna. Chile puede aprender de estas prácticas, adaptándolas a sus propias características ecológicas, como su biodiversidad única y las rutas migratorias que afectan a numerosas especies.

Por último, se subraya la importancia de fortalecer la colaboración entre los sectores energético y ambiental, promoviendo la integración de medidas de mitigación y compensación en las fases de diseño y operación de los proyectos. Esto, junto con la capacitación de especialistas locales y la mejora en las guías normativas, contribuirá a asegurar un desarrollo energético sostenible que equilibre el crecimiento de las energías renovables con la conservación de la fauna nativa.

# 5 Bibliografía


- Acuña, P., Santander, F. y Estades, C. (2016). Antecedentes para la evaluación del impacto del parque eólico viento sur sobre la avifauna. 54 pp.
- Adams, E., Gulka, J., & Williams, K. (2021). A review of the effectiveness of operational curtailment for reducing bat fatalities at terrestrial wind farms in North america. Plos One, 16(11), e0256382. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256382.
- Ahlén, I., H.J. Baagøe, and L. Bach. 2009. Behavior of Scandinavian bats during migrationand foraging at sea. Journal of Mammalogy 90:1318–1323.
- APLIC, 2006. Suggested Practices for Avian Protection on Power Lines: The State of the Art in 2006.
- APLIC, 2012. Reducing avian collisions with power lines: the state of the art in 2012 E. E. I. and APLIC, ed., Washington, D.C.
- Altshuler Douglas, Joseph W. Bahlman, Roslyn Dakin, Andrea H. Gaede, Benjamin Goller, David Lentink, Paolo S. Segre, and Dimitri A. Skandalis. 2015. The biophysics of bird flight: Functional relationships integrate aerodynamics, morphology, kinematics, muscles, and sensors. Canadian Journal of Zoology. DOI:10.1139/cjz-2015-0103.
- Arnett, E., Huso, M., Schirmacher, M., & Hayes, J. (2010). Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. Frontiers in Ecology and the Environment, 9(4), 209-214. https://doi.org/10.1890/100103.
- Arnett EB, Hein CD, Schirmacher MR, Huso MMP, Szewczak JM (2013) Evaluating the Effectiveness of an Ultrasonic Acoustic Deterrent for Reducing Bat Fatalities at Wind Turbines. PLoS ONE 8(6): e65794. doi:10.1371/journal.pone.0065794
- Atienza, J.C., I. Martín Fierro, O. Infante y J. Valls. 2008. Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 1.0). SEO/BirdLife, Madrid.
- Baasch, D. M., A. M. Hegg, J. F. Dwyer, A. J. Caven, W. E. Taddicken, C. A. Worley, A. H. Medaries, C. G. Wagner, P. G. Dunbar, and N. D. Mittman. 2022. Mitigating avian collisions with power lines through illumination with ultraviolet light. Avian Conservation and Ecology 17(2):9.
- Barclay, R. M. R., Baerwald, E. F., & Gruver, J. C. (2007). Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. Canadian Journal of Zoology, 85(3), 381-387. https://doi.org/10.1139/z07-011.
- Barré, K.; Le Viol, I.; Bas, Y.; Julliard, R.; Kerbiriou, C. Estimating Habitat Loss Due to Wind Turbine Avoidance by Bats: Implications for European Siting Guidance. Biological Conservation 2018, 226, 205– 214, DOI: 10.1016/j.biocon.2018.07.011.
- Baerwald Erin, Genevieve H. D'Amours, Brandon J. Klug & Robert M.R. Barclay. 2008. Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. Current Biology Vol 18 No 16. doi: 10.1016/j.cub.2008.06.029.
- Bernardino, J., Bevanger, K., Barrientos, R., Dwyer, J., Marques, A., Martins, R. Shaw, J., Silva, J. and Moreira, F. (2018). Bird collisions with power lines: State of the art and priority areas for research. Biological Conservation 222: 1-13.

- Bernardino, J., Martins, R.C., Bispo, R. and Moreira, F. (2019). Re-assessing the effectiveness of wire-marking to mitigate bird collisions with power lines: A meta-analysis and guidelines for field studies. Journal of Environmental Management 252(2019) 109651.
- Bernthinussen A., Richardson OC, Altringham JD. 2021. Bat Conserva-tion: Global Evidence for the Effects of Interventions. University of Cambridge
- Bernotat, D. & Dierschke, V. (2021): Übergeordnete Kriterien zur Bewertung der Mortalität wildlebender Tiere im Rahmen von Projekten und Eingriffen – Teil II.3: Arbeitshilfe zur Bewertung der Kollisionsgefährdung von Vögeln an Windenergieanlagen (an Land), 4. Fassung, Stand 31.08.2021, 107 S.
- Bevanger, K., 1998. Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. Biological Conservation, 86(1), pp.67–76.
- Biasotto, L. and Kindel, A. (2018). Power lines and impacts on biodiversity: A systematic review. Environmental Impact Assessment Review 71 (2018) 110-119.
- Bienz C., 2016. Surface Texture Discrimination by Bats: Implications for Reducing Bat Mortality at Wind Turbines. Master of Sciences. Texas Christian University.
- Calvert, A.M., Bishop, C.A., Elliot, R.D., Krebs, E.A., Kydd, T.M., Machtans, C.S., Robertson, G.J., 2013. A synthesis of human-related avian mortality in Canada. Avian Conserv. Ecol. 8 (2), 11.
- Carrete, M., Sánchez-Zapata, J., Benítez, J., Lobón, M., & Donázar, J. (2009). Large scale risk-assessment of windfarms on population viability of a globally endangered long-lived raptor. Biological Conservation, 142(12), 2954-2961. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.07.027.
- Carrete, M., Sánchez-Zapata, J., Benítez, J., Montoya, F., & Donázar, J. (2013). Species distribution models and wind farm developments. Biological Conservation, 157, 433. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.07.006.
- Colhoun, K. & Cummins, S., 2013. Birds of Conservation Concern in Ireland 2014 – 2019. Irish Birds, 9(4), pp.523–544.
- Conesa Fernández-Vitora, V. (1995). Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental. Madrid: Editorial Ecu.
- Cordeiro, Luca Borghesio, Martin P. Joho, Teodora J. Monoski, Victor J. Mkongewa, Corinna J. Dampf. 2013. Forest fragmentation in an African biodiversity hotspot impacts mixed-species bird flocks. Biological Conservation. Volume 188, August 2015, Pages 61-71.
- Cramp, S., Simmons, K.E.L., 1980. The Birds of the Western Paleartic vol. 2. OxfordUniversity Press, Oxford, UK.
- Cryan, P., & Barclay, R. M. (2009). Causes of bat fatalities at wind turbines: Hypotheses and predictions. Journal of Mammalogy, 90(6),1330–1340.
- D'Amico, M., R.C. Martins, J.M. Álvarez-Martínez, M. Porto, R. Barrientos, and F. Moreira. 2019. Bird collisions with power lines: Prioritizing species and areas by estimating potential population-level impacts. Diversity and Distributions 25:975–982.
- De Grijs Elora. 2018. Windturbines en Natuur, de effecten van windturbines op natuur en de mitigatiemogelijkheden die hierop toegepast kunnen worden. Natuur en Milieu Zuid Holland. Federatie.

- De Lucas, M., Janss, G. F., Whitfield, D. P. & Ferrer, M. 2008. Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. J. Appl. Ecol. 45, 1695–1703.
- De Lucas, M., Ferrer, M., & Janss, G. (2012). Using wind tunnels to predict bird mortality in wind farms: the case of griffon vultures. Plos One, 7(11), e48092. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048092.
- Desholm, M., & Kahlert, J. (2005). Avian collision risk at an offshore wind farm. Biology Letters, 1(3), 296-298.
- Dixon, A., Maming, R., Gunga, A., Purev-Ochir, G. and Batbayar, N. (2013). The problem of raptor electrocution in Asia: case studies from Mongolia and China. Bird Conservation International 23: 520-529.
- Drewitt, A.L. & Langston, R.H.W., 2006. Assessing the impacts of wind farms on birds. Ibis, 148(SUPPL. 1), pp.29–42.
- Dürr, T., & Rasran, L. (2014). Schlagopfer und Gittermasten: Untersuchungen der Fundhäufigkeit, des Brutbestandes und des Bruterfolgs von Greifvögeln in zwei Windparks in Brandenburg. Schlussbericht: Greifvögel Und Windkraftanlagen: Problemanalyse Und Lösungsvorschläge, 18.
- Dwyer, J.F., Harness, R.E. & Donohue, K., 2013. Predictive Model of Avian Electrocution Risk on Overhead Power Lines. Conservation Biology, 00(0), pp.1–10
- Dwyer, J.F. (2015). Critical Dimensions of Raptors on Electric Utility Poles. Journal of Raptor Research, 49(2), pp.210–216.
- Dwyer, J., Karyakin, I.V., Garrido López, J.R. and Nikolenko, E.G. 2023. Avian electrocutions on power lines in Kazakhstan and Russia. Ardeola: 70(1): 3-27.
- Ellerbrok, J. S., Delius, A., Peter, F., Farwig, N. and Voigt, C. C. 2022. Activity of forest specialist bats decreases towards wind turbines at forest sites. – J. Appl. Ecol. 59: 2497–2506.
- Erickson, W.P., Johnson, G.D., Young Jr., D.P.Y., 2005. A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions. General Technical Reports. USDA Forest Service General Technical Report PSWGTR-191.
- Falcão, F.; Mira-Mendes, C. V. d.; Herrera-Lopera, J.M. Between Wires and Wings: What Are the Impacts of Power Transmission Lines on the Diversity of Insectivorous Bats? Sustainability 2024, 16, 5639.
- Farfán, M., Vargas, J., Duarte, J., & Real, R. (2009). What is the impact of wind farms on birds? a case study in southern spain. Biodiversity and Conservation, 18(14), 3743-3758. https://doi.org/10.1007/s10531-009-9677-4.
- Farfán, M., Duarte, J., Real, R., Muñoz, A., Fa, J., & Vargas, J. (2017). Differential recovery of habitat use by birds after wind farm installation: a multi-year comparison. Environmental Impact Assessment Review, 64, 8-15.
- Fernández Ignacio, Fulgencio Lisón Gil, Bernardino A. Camousseigt & Jose I. von Unger. Atracción sonora de turbinas eólicas en murciélagos: un estudio de caso. Gayana (En prensa).

- Fernie, K.J. and Reynolds, S.J. (2005). The effects of electromagnetic fields from power lines on avian reproductive biology and physiology: a review. Journal of Toxocology and Environmental Health B. 8, 127-140.
- Furmankiewicz Joanna, Monika Kucharska, Migration of Bats along a Large River Valley in Southwestern Poland, *Journal of Mammalogy*, Volume 90, Issue 6, 15 December 2009, Pages 1310–1317, https://doi.org/10.1644/09-MAMM-S-099R1.1
    - Galaz J., J. Yáñez & I. Fernández. 2019. Los Murciélagos de Chile: Guía para su reconocimiento. CEA Ediciones. Valdivia, Chile, 128 pp.
- Gartman, V.; Bulling, L.; Dahmen, M.; Geißler, G.; Köppel, J. (2016). Mitigation Measures for Wildlife in Wind Energy Development, Consolidating the State of Knowledge - Part 1: Planning and Siting, Construction. Journal of Environmental Assessment Policy and Management, 18(3), 1650013.
- Gaultier, S. P., Lilley, T. M., Vesterinen, E. J. and Brommer, J. E. 2023. The presence of wind turbines repels bats in boreal forests. – Landsc. Urban Plan. 231: 104636.
- Gibson D., Erik Blomberg, Michael T. Atamian, James S. Sedinger, Shawn Espinoza. 2018. Effects of power lines on habitat use and demography of greater sage-grouse (Centrocercus urophasianus): Influence of Transmission Lines on Sage-Grouse. Wildlife Monographs 200(1):1-41.
- Gilsdorf, J., Hygnstrom, S. & VerCauteren, K. 2002. Use of frightening devices in wildlife damage management. Integrated Pest Management Reviews 7: 29–45, 2002.
- Global Wind Energy Council (GWEC,2023) Global Wind Report 2023
- Grajetzky, Bodo; Hoffmann, Malte; Nehls, Georg (2010): Proyecto BMU Aves rapaces y energía eólica. Subproyecto Aguilucho cenizo. Investigaciones telemétricas. Natur-schutzbund Deutschland e.V. (NABU), 08 de noviembre de 2010.
- Grajetzky, Bodo; Nehls, Georg (2014): Estudios telemétricos de aguiluchos cenizos en Schleswig- Holstein. En: Birds of prey and wind turbines: Problem analysis and proposed solutions. Informe final para el Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear. Michael Otto Institute at NABU; BioConsult SH GmbH & Co KG; Leibniz Institute for Zoo and Wildlife Research. Bergenhusen, Berlín, Husum, pp. 101-156.
- Goldenberg, S., Cryan, P., Gorresen, P., & Fingersh, L. (2021). Behavioral patterns of bats at a wind turbine confirm seasonality of fatality risk. Ecology and Evolution, 11(9), 4843-4853.
- Gómez-Catasús J., Margarita Reverter, Daniel Bustillo-de la Rosa, Adrián Barrero, Cristian Pérez-Granados, Julia Zurdo, Juan Traba,2023. Moderate sheep grazing increases arthropod biomass and habitat use by steppe birds, Agriculture, Ecosystems & Environment, Volume 354.
- González, J., Tintó, A., & Barrios, L. (2007). Avian Mortality at Wind Farms in Northern Spain: Effects of Blade Size, Tower Height, and Speed on Collision Rates. Journal of Applied Ecology, 44(3), 688-699.
- Guil, F. and 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 (2022) 113890.

- Harris, R.E. and R.A. Davis. 1998. Evaluation of the efficacy of products and techniques for Airport Bird Control. Aerodrome Safety Branch, Transport Canada. TP13029. 93 pages.
- Hötker, H., Thomsen, K.-M. & H. Jeromin (2006): Impacts on biodiversity ofexploitation of renewable energy sources: the example of birds and bats - facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelinesfor the development of renewable energy exploitation. Michael-Otto-Institut imNABU, Bergenhusen
- Huzzen B. (2019) Does a textured coating alter bat activity and behaviour in proximity to wind turbines. MSc thesis. Texas Christian University.
- Illan, J.G.; Wang, G.; Cunningham, F.L.; King, D.T. Seasonal effects of wind conditions on migration patterns of soaring American white pelican. PLoS ONE 2017, 12, e0186948.
- IRENA (2022), Renewable Energy Statistics 2022, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi
- Janss, G. and Ferrer, M. (1999). Mitigation of raptor electrocution on steel power poles. Wildlife Society Bulletin, 27(2), pp.263–273.
- Janss, G. (2000). Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a species-specific mortality. Biological Conservation, 95, pp.353–359.
- Jonasson Kristin, Amanda Adams, Alison Brokaw, Michael Withby, Teague Omara, & Winifred Frick. 2023. A multisensory approach to understanding bat responses to wind energy developments. Mammal Review ISSN 0305-1838. doi: 10.1111/mam.12340
- Jutglar, F. and Masso, A. 1999. Aves de la península Ibérica. Editorial Planeta. Barcelona
- Kelm, Detlev H.; Lenski, Johannes; Kelm, Volker; Toelch, Ulf; Dziock, Frank. 2014. Seasonal bat activity in relation to distance to hedgerows in an agricultural landscape in central Europe and implications for wind energy development. Acta Chiropterologica, Volume 16, Number 1, June 2014, pp. 65-73(9).
- Kingsley, A. & Whittam, B. Potential Impacts of Wind Turbines on Birds at North Cape, Prince Edward Island (Bird Studies Canada, 2001).
- Kleyheeg-Hartman, J. C., Boonman, M., & Krijgsveld, K. L. (2017). Effecten van windpark Oostpolderdijk op beschermde soorten, Eemshaven Groningen. Activiteitenplan in het kader van de Wet natuurbescherming. Bureau Waardenburg rapportnummer, 17-009
- Krimowa, S. Obstacles and obligations: wind energy and migratory bird protection in New Zealand. https://doi.org/10.26686/wgtn.16993456
- Korstian, J., Chumchal, M., Bennett, V., & Hale, A. (2017). Mercury contamination in bats from the central united states. Environmental Toxicology and Chemistry, 37(1), 160-165. https://doi.org/10.1002/etc.3940.
- Kumara, H., Babu, S., Babu Rao, G., Mahato, S., Bhattacharya, M., Ranga Rao, N.V., Tamiliniyan, D., Parengal, H., Deepak, D., Balakrishnan, A. & Bilaskar, M. 2022. Reponses of birds and mammals to long established wind farms in India. Scientific Reports 12:1339.
- Kunz T.H. et al. (2007). Assessing impacts of windenergy development on nocturnally activ e birds and bats: a guidance document. Journal of Wildlife Management, 71, pp. 2449-2486.
- Kuvlesky, W.P., Jr., Brennan, L.A., Morrison, M.L., Boydston, K.K., Ballard, B.M. And Bryant, F.C. (2007), Wind Energy Development and Wildlife Conservation: Challenges and

Opportunities. The Journal of Wildlife Management, 71: 2487-2498. https://doi.org/10.2193/2007-248

- Landesamt für Umwelt Brandenburg, 2023. Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Vögel und Fledermäuse (en línea).

  https://lfu.brandenburg.de/lfu/de/aufgaben/natur/artenschutz/vogelschutzwarte/arbeitsschwerpunkt-entwicklung-und-umsetzung-von-schutzstrategien/auswirkungen-von-windenergieanlagen-auf-voegel-und-fledermaeuse/#

- Langhout Wouter. 2015. BirdLife Position on Wind energy and Birds and Bats in the European Union. EU Birds and Habitats Directive Task Force.
- Langston, R.H.W. & Pullan, J.D. 2003 Windfarms and birds: an analysis of the effects of wind farms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. Report T-PVS/Inf (2003) 12, by BirdLife International to the Council of Europe, Bern Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. RSPB/BirdLife in the UK
- Leddy, K. L., Higgins, K. F. & Naugle, D. E. 1999. Effects of wind turbines on upland nesting birds in Conservation Reserve Program grasslands. Wilson. Bull. 111, 100–104.
- Lehman, R., Kennedy, P. & Savidge, J., 2007. The state of the art in raptor electrocution research: A global review. Biological Conservation, 136(2), pp.159–174. Available
- Liang, X. (2023). Mitigating the negative impact of wind power on soaring birds through government restrictions. Energies, 16(18), 6584. https://doi.org/10.3390/en16186584.
- Limpens, H.J.G.A., H. Huitema & J.J.A. Dekker, 2007. Vleermuizen en windenergie, Analyse van effecten en verplichtingen in het spanningsveld tussen vleermuizen en windenergie, vanuit de ecologische en wettelijke invalshoek. VZZ rapport 2006.50. Zoogdiervereniging VZZ, Arnhem, in opdracht van SenterNovem.
- Lindeiner, Andreas von (2014): La energía eólica y la protección de las aves. En: Anliegen. Natur 36 (1), p. 39 - 46.
- Lintott, P., Richardson, S., Hosken, D., Fensome, S., & Mathews, F. (2016). Ecological impact assessments fail to reduce risk of bat casualties at wind farms. Current Biology, 26(21), R1135-R1136.
- Loss, S.R., Will, T. & Marra, P.P., 2014. Refining estimates of bird collision and electrocution mortality at power lines in the United States. PloS one, 9(7), p.e101565.
- Marqués, A. T., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M. J. R., Fonseca, C., et al. (2014). Understanding bird collisions at windfarms: An updated review on the causes and possible mitigationstrategies. Biological Conservation, 179, 40–52.
- Master, L. L., D. Faber-Langendoen, R. Bittman, G. A. Hammerson, B. Heidel, L. Ramsay, K. Snow, A. Teucher, and A. Tomaino. 2012. NatureServe Conservation Status Assessments: Factors for Evaluating Species and Ecosystem Risk. NatureServe, Arlington, VA.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 1994. Ley N°19300 Aprueba Ley sobre Bases generales del Medio Ambiente (última versión 10/04(2024 Ley 21660) [en línea] https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667

- Ministerio de Medio Ambiente, 2012. Decreto Supremo N°40. Aprueba reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental [en línea]

  https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1053563

- Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía, 2022a. 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. Santiago, Chile, 65 pp.

- Pereira, M., Barros, M., Chaves, T., Rui, A., Dotto, J., Braun, A., … & Sana, D. (2017). Guidelines for consideration of bats in environmental impact assessment of wind farms in brazil: a collaborative governance experience from rio grande do sul state. Oecologia Australis, 21(02), 232-255.

- Powlesland Ralph. 2009. Impacts of wind farms on birds: a review. Science for conervatio 289. PO Box 10420, The Terrace, Wellington 6143, New Zealand.

- Pruett, C. L., M. A. Patten, and D. H. Wolfe. 2009. It's not easy being green: wind energy and a declining grassland bird. BioScience 59:257-262

- Rebolo-Ifrán, N., Plaza, P., Pérez-García, J.M., Gamarra-Toledo, V., Santander, F. and Lambertucci, S. (2023). Power lines and birds: An overlooked threat in South America. Perspectives in Ecology and Conservation 21 (2023) 71-84.

- Raab, R., Kollar, H. P., Winkler, H., Farago, S., Spakovszky, P., Chavko, J., Maderic, B., S korpıkova, V., Patak, E., Wurm, H., Julius, E., Raab, S. and Schu¨ tz, C. (2010) Die Bestandsentwicklung der westpannoni-schen Population der Großtrappe, Otistarda Linnaeus 1758, von 1900 bis zum Winter 2008/2009. Egretta 51: 74–99.

- Resolución Exenta nº 33.277, de fecha 10/09/2020, de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

- Richardson, S.M., Lintott, P.R., Hosken, D.J. et al. Peaks in bat activity at turbines and the implications for mitigating the impact of wind energy developments on bats. Sci Rep 11, 3636 (2021). https://doi.org/10.1038/s41598-021-82014-9.

- Rydell J., Henri Engström, Anders Hedenström, Jesper Kyed Larsen, Jan Pettersson and Martin Green. 2012. The effect of wind power on birds and bats. Swedish Environmental Protection Agency.

- Riopérez, A and M Puente (2013). DTBird: A tool for bird monitoring and bird mortalityreduction in wind farms. In: Naturvårdsverket (ed.), Book of Abstracts: Conference onwind power and environmental impacts. Stockholm, Sweden, p. 12.

- Rioux, S., Savard, J.P. and Gerick, A.A. (2013). Avian mortalities due to transmission line collisions: a review of current estimates and field methods with an emphasis on applications to the Canadian electric network. Avian Conservation and Ecology 8(2):7.

- Rodrigues, L. Bach, M. J. Dubourg-Savage, B. Karapandza, D. Kovac, T. Kervyn, J. Dekker, A. Kepel, P. Bach, J. Collins, C. Harbush, K. Park, B. Micevski, J. Minderman (2015): Guidelines for consideration of bats in wind farm projects - Revision 2014. EUROBATS Publication Series No 6 (English Version) UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 133 p.

- Rollins K., D K Meyerholz, G D Johnson, A P Capparella, S S Loew. 2012. A forensic investigation into the etiology of bat mortality at a wind farm: barotrauma or traumatic injury? Veterinary Pathology 49(2) 362-371. DOI: 10.1177/0300985812436745.
- Servicio Agrícola y Ganadero (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. Santiago, Chile. 120 p.
- SEA, 2024. Criterio de Evaluación en el SEIA: Metodologías para consideración de los impactos acumulativos y sinérgicos. Santiago, noviembre 2024
- SEA, 2024. Guía de evaluación en el SEIA: Golondrinas de mar en el SEIA. Servicio de Evaluación Ambiental. Santiago, noviembre 2024.
- SEA, 2023. Criterio de evaluación en el SEIA: alcances y principios metodológicos para la evaluación de los impactos ambientales. Servicio de Evaluación Ambiental. Santiago, septiembre de 2023.
- SEA, 2023. Guía Metodológica para la Compensación de Biodiversidad en Ecosistemas Terrestres y Acuáticos Continentales. Servicio de Evaluación Ambiental. Santiago, 2 de junio de 2023.
- SEA, 2022. Criterio de evaluación en el SEIA: criterios técnicos para campañas de terreno de fauna terrestre y validación de datos. Servicio de Evaluación Ambiental. Santiago, noviembre de 2022.
- SEA, 2022. Criterio de evaluación en el SEIA: evaluación de impactos por ruido sobre fauna nativa". Servicio de Evaluación Ambiental. Santiago, 29 de abril de 2022.
- SEA, 2020. Guía para la Descripción de Centrales Eólicas de Generación de Energía Eléctrica en el SEIA. Servicio de Evaluación Ambiental. Santiago, 13 de marzo 2020.
- SEA, 2020. Guía para la aplicación del D.S N° 38, de 2011, del Ministerio del Medio ambiente, que establece norma de emisión de ruidos generados por fuentes que indica, para proyectos de parques eólicos en el SEIA. Servicio de Evaluación Ambiental. 01 de enero de 2020.
- Scholz, C. and Voigt, C. (2022). Diet analysis of bats killed at wind turbines suggests large-scale losses of trophic interactions. Conservation Science and Practice, 4(7). https://doi.org/10.1111/csp2.12744.
- Smallwood KS, Bell DA. 2020. Effects of wind turbine curtailment on bird and bat fatalities. The Journal of Wildlife Management 84(4):685–696.
- Sovacool Benjamin. 2009. The avian benefits of wind energy: A 2009 update. Renewable Energy. 10.1016/j.renene.2012.01.074
- Stahl J. & Epe M. (*eds*) 2021. Gevoeligheid van vogels en vleermuizen voor windturbines in de provincie Utrecht. Achtergronddocument bij de ruimtelijke modellering van verspreiding en vliegbewegingen. Sovon-rapport 2021/18. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen, Rapport Zoogdiervereniging 2021.03, Zoogdiervereniging, Nijmegen.
- Tella José, Dailos Hernández-Brito, Guillermo Blanco, Fernando Hiraldo. 2020. Urban Sprawl, Food Subsidies and Power Lines: An Ecological Trap for Large Frugivorous Bats in Sri Lanka. Diversity 2020, 12, 94. DOI: 10.3390/d12030094.

- Thaxter Chris B., Buchanan Graeme M., Carr Jamie, Butchart Stuart H. M., Newbold Tim, Green Rhys E., Tobias Joseph A., Foden Wendy B., O'Brien Sue and Pearce-Higgins James W. 2017Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment Proc. R. Soc. B.28420170829.
- Tryjanowski, P., Sparks, T.H., Jersak, L., Rosin, S.M. and Skórka, P. (2014). A Paradox for Conservation: Electricity Pylons May Benefit Avian Diversity in Intensive Farmland. Conservation Letters, 7(1), pp.34–40.
- True, M. C., Gorman, K. M., Taylor, H., Reynolds, R. J., & Ford, W. M. (2023). Fall migration, oceanic movement, and site residency patterns of eastern red bats (lasiurus borealis) on the mid-atlantic coast. Movement Ecology, 11(1). https://doi.org/10.1186/s40462-023-00398-x
- Verboom, B. & H.J.G.A. Limpens (2001): Windmolens en Vleermuizen. Zoogdier 12: 13-17.
- Voigt Christian, Enrico Bernard, Joe Chun-Chia Huang, Winifred F Frick, Christian Kerbiriou, Kate MacEwan, Fiona Mathews, Armando Rodríguez-Durán, Carolin Scholz, Paul W Webala, Justin Welbergen, Michael Whitby. Toward solving the global green–green dilemma between wind energy production and bat conservation, BioScience, Volume 74, Issue 4, April 2024, Pages 240–252.
- Walker D., M McGrady, A McCluskie, M Madders & D R A Mtoward 2005. Resident Golden Eagle ranging behaviour before and after construction of a windfarm in Argyll. e Scottish Ornithologists' Club, The Scottish Birdwatching Resource Centre, Waterston House, Aberlady, East Lothian EH32 6PY. © 2005.
- Whitby, M. D., O'Mara, M. T., Hein, C. D., Huso, M. & Frick, W. F. 2024. A decade of curtailment studies demonstrates aconsistent and effective strategy to reduce bat fatalities at wind turbines in North America. Ecol. Sol. Evid. 5, e12371.
- Williams Timothy, Leonard Ireland & Janet Williams. 1973. High Altitude Flights of the Free-Tailed Bat, Tadarida brasiliensis, Observed with Radar. Journal of Mammalogy 54(4):807 DOI: 10.2307/1379076.
- Zolotoff-Pallais José Manuel, Antonio Mijail Perez & Roger Mendieta Donaire. 2024. General Comparative Analysis of Bird-Bat Collisions at a Wind Power Plant in the Department of Rivas, Nicaragua, between 2014 and 2022. European Journal of Biology and Biotechnology 5(3):1-7. DOI: 10.24018/ejbio.2024.5.3.504.

# 6 Anexos

## 6.1 **Anexo 1.** Proyectos de parques eólicos revisados, ubicación, N° de RCA y año de obtención, grupo objetivo (aves y/o murciélagos) al cual fueron dirigidas las medidas de mitigación

| Nombre del Parque Eólico (PE) | Ubicación (Región) | N° RCA | Año RCA | Grupo objetivo con medidas |
|---|---|---|---|---|
| PE Cerro Tigre | Antofagasta | 148 | 2016 | Aves |
| PE Valle de los Vientos | Antofagasta | 138 | 2010 | Aves |
| PE Calama | Antofagasta | 236 | 2018 | Aves |
| PE Tchamma | Antofagasta | 492 | 2014 | Aves |
| PE Sierra Gorda Este | Antofagasta | 490 | 2014 | Aves |
| PE Taltal | Antofagasta | 240 | 2012 | Aves |
| Modificación PE Taltal | Antofagasta | 166 | 2013 | Aves |
| PE Malleco | Araucanía | 240 | 2016 | Aves |
| PE Renaico i | Araucanía | 149 | 2012 | Aves |
| PE La Flor | Araucanía | 1168 | 2014 | Aves |
| PE Tolpan sur | Araucanía | 285 | 2018 | Aves |
| PE San Juan de Chañaral de Aceituno | Atacama | 40 | 2013 | Aves |
| PE Cabo Leones | Atacama | 70 | 2012 | Aves |
| PE Sarco | Atacama | 32 | 2014 | Aves |
| PE Cabo Leones III | Atacama | 126 | 2018 | Aves y murciélagos |

| Nombre del Parque Eólico (PE) | Ubicación (Región) | N° RCA | Año RCA | Grupo objetivo con medidas |
|---|---|---|---|---|
| PE Cabo Leones II | Atacama | 219 | 2012 | Aves |
| PE Las Peñas | Biobío | 251 | 2013 | Aves |
| PE El Maitén | Biobío | 419 | 2016 | Aves y murciélagos |
| Ampliación parque eólico Lebu | Biobío | 69 | 2009 | Aves |
| Ampliación II parque eólico Lebu – Cristoro | Biobío | 275 | 2014 | Aves |
| PE Lebu segunda etapa | Biobío | 158 | 2012 | Aves |
| Ampliación III parque eólico Lebu – Cristoro | Biobío | 183 | 2015 | Aves y murciélagos |
| PE Raki | Biobío | 107 | 2012 | Aves |
| PE El Arrebol | Biobío | 2 | 2016 | Aves |
| PE Cuel | Biobío | 31 | 2012 | Aves |
| PE Los Buenos Aires | Biobío | 25 | 2015 | Aves |
| PE Alena | Biobío | 314 | 2013 | Aves |
| PE Mesamávida | Biobío | 12 | 2015 | Aves |
| PE Lomas de Duqueco | Biobío | 142 | 2018 | Aves |
| PE El Nogal | Biobío | 488 | 2016 | Aves |
| PE Los Olmos | Biobío | 140 | 2016 | Aves y murciélagos |
| PE La Esperanza | Biobío | 284 | 2015 | Aves |

| Nombre del Parque Eólico (PE) | Ubicación (Región) | N° RCA | Año RCA | Grupo objetivo con medidas |
|---|---|---|---|---|
| PE Negrete | Biobío | 280 | 2014 | Aves |
| PE San Gabriel | Biobío | 125 | 2015 | Aves |
| PE Canela II | Coquimbo | 296 | 2008 | Aves |
| PE Canela | Coquimbo | 150 | 2006 | Aves |
| PE Totoral | Coquimbo | 117 | 2008 | Aves |
| PE Punta Palmeras | Coquimbo | 222 | 2009 | Aves |
| PE Punta Colorada | Coquimbo | 186 | 2007 | Aves |
| PE Monte Redondo | Coquimbo | 228 | 2007 | Aves |
| PE Talinay (Oriente) | Coquimbo | 158 | 2009 | Aves |
| PE El Arrayan | Coquimbo | 77 | 2010 | Aves y murciélagos |
| PE Talinay II (Poniente) | Coquimbo | 108 | 2013 | Aves |
| PE Los Cururos Sur | Coquimbo | 213 | 2009 | Aves |
| PE Punta Sierra | Coquimbo | 116 | 2012 | Aves |
| PE San Pedro | Los Lagos | 351 | 2011 | Aves |
| PE Ampliación San Pedro | Los Lagos | 733 | 2013 | Aves |
| PE Aurora | Los Lagos | 539 | 2015 | Aves |
| PE Cabo Negro Fase 1 | Magallanes | 259 | 2009 | Aves |
| PE Nuevo Cabo Negro | Magallanes | 29 | 2017 | Aves |

| Nombre del Parque Eólico (PE) | Ubicación (Región) | N° RCA | Año RCA | Grupo objetivo con medidas |
|---|---|---|---|---|
| PE Ucuquer | O'Higgins | 99 | 2012 | Aves |
| PE La Estrella | O'Higgins | 187 | 2015 | Aves |
| PE Antofagasta | Antofagasta | 20230200128 | 2023 | Aves |
| PE Altos de Tablaruca | Los Lagos | En Calificación | | Aves y murciélagos |
| PE Atacama | Atacama | 20210300186 | 2021 | Aves y murciélagos |
| PE Andes Wind Parks | Antofagasta | 0120 | 2013 | Aves |
| PE Faro del Sur | Magallanes y la Antártica Chilena | En Calificación | | Aves |
| PE Litueche | O'Higgins | 1 | 2019 | Aves y murciélagos |
| PE Los Cerrillos | O'Higgins | 12 | 2017 | Aves |
| PE Vientos del Loa | Antofagasta | 20210200130 | 2021 | - |
| PE El Guanaco | Maule | 20240700182 | 2024 | Aves |
| PE Pemuco | Ñuble | 20241600127 | 2024 | Aves y murciélagos |
| PE Los Coihues | Ñuble | En Calificación | | Aves y murciélagos |
| PE LLay-LLay | Valparaíso | 113 | 2012 | Aves |
| PE Las Dichas | Valparaíso | 626 | 2010 | Aves |

## 6.2 **Anexo 2.** Proyectos de LTE revisados, ubicación, N° de RCA y año de obtención, grupo objetivo (aves y/o murciélagos) al cual fueron dirigidas las medidas de mitigación

| Línea de Transmisión | Ubicación (Región) | N° RCA | Año RCA | Grupos objetivo con medidas |
|---|---|---|---|---|
| Línea de Transmisión Eléctrica HVDC Kimal - Lo Aguirre | Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, y Metropolitana | En Calificación (EIA) | | Aves |
| Línea de Transmisión Eléctrica 2x220 Kv CT Pacífico-S/E Lagunas | Tarapacá | 17 (EIA) | 2015 | Aves |
| Linea de transmisión eléctrica 2 X 220 kV, tramo Sarco - Maitencillo, comunas de Freirina y Vallenar, Provincia del Huasco, Región de Atacama | Atacama | 7 (EIA) | 2015 | Aves |
| Línea de Transmisión 1x220 KV Centinela - Panimávida | Maule | 36 (EIA) | 2014 | Aves |
| Modificación Línea de Transmisión 2x220 kV Maitencillo - Caserones, Variante Maitencillo Norte | Atacama | 017 (EIA) | 2012 | Aves |
| Línea de Transmisión Eléctrica Los Hierros- Canal Melado; y Subestaciones Los Hierros y Canal Melado | Maule | 151 (EIA) | 2011 | Aves |
| Línea de Transmisión 2x220 kV Maitencillo - Caserones | Atacama | 151 (EIA) | 2011 | Aves |
| Línea de Transmisión eléctrica 2 x 220 kV Chacayes- Maitenes | Libertador General Bernardo O'Higgins | 229 (EIA) | 2009 | Aves |
| Línea de Transmisión Eléctrica 2 x 220 kV Charrúa-Lagunillas y obras asociadas | Biobío | 174 (EIA) | 2009 | Aves |
| Línea de Transmisión Eléctrica 220 kV Polpaico Confluencia | Metropolitana | 26 (EIA) | 2009 | Aves |
| Línea de Transmisión Charrúa-Nueva Temuco 2 x 220 kV (Segunda Presentación) | Dirección Ejecutiva | 552 v | 2007 | No propone medidas |

| Línea de Transmisión | Ubicación (Región) | N° RCA | Año RCA | Grupos objetivo con medidas |
|---|---|---|---|---|
| Línea de Transmisión Eléctrica 2x220 KV Los Maquis - Saladillo | Valparaíso | 022 (EIA) | 2007 | No propone medidas |
| Línea de Transmisión Eléctrica 1x220 kV S/E Charrúa-Chillán | Biobío -Ñuble | 150 (EIA) | 2004 | No propone medidas |
| Línea de Transmisión Eléctrica de 2x220 kv S/E Ancoa S/E Itahue (Segunda Presentación) | Maule | 88 (EIA) | 2003 | No propone medidas |
| Línea de alta tensión 2x500 kV, Los Changos-Kimal | Antofagasta | 440 (DIA) | 2017 | No propone medidas |
| Línea de Transmisión eléctrica Cerro Pabellón | Antofagasta | 168 (EIA) | 2013 | Aves |
| Línea Alta Tensión S/E Chacaya- S/E Crucero | Antofagasta | 202 (EIA) | 2013 | Aves |
| Línea de Alta tensión Pampas-Parinas | Antofagasta | 20210200146 (DIA) | 2021 | Aves |
| Línea alta tensión Terra-Parinas | Antofagasta | 20210200124 (DIA) | 2021 | Aves |
| Nueva línea transmisión 2x220 kV Nueva Pan de Azúcar-Punta Sierra-Centella | Coquimbo | 55 (EIA) | 2021 | Aves |
| Línea de transmisión 1x66 kV Fátima-Isla de Maipo | Metropolitana | 205 (DIA) | 2016 | Aves |
| Línea de transmisión eléctrica Angostura-Mulchén | Biobío | 261 (DIA) | 2011 | No propone medidas |
| Línea 2x220 kV Ciruelos-Pichirropulli | Los Ríos | 25 (EIA) | 2015 | Aves y murciélagos |
| Línea de Transmisión 220 kV Chiloé – Gamboa | Los Lagos | 141 (DIA) | 2017 | Aves |
| Nuevas líneas 2x220 kV entre Parinacota y Cóndores | Tarapacá, Arica y Parinacota | 1112 (EIA) | 2019 | Aves |
| Sistema de Transmisión de 500 kV Mejillones-Cardones | Antofagasta, Atacama | 504 (EIA) | 2012 | Aves |
| Modificación al Trazado Sistema de Transmisión de 500 kV Mejillones - Cardones | Antofagasta, Atacama | 1044 (DIA) | 2015 | No propone |

| Línea de Transmisión | Ubicación (Región) | N° RCA | Año RCA | Grupos objetivo con medidas |
|---|---|---|---|---|
| Nueva línea Maitencillo-Punta Colorada-Nueva Pan de Azúcar 2x220 kV, 2x500 MVA | Atacama, Coquimbo | 193 (EIA) | 2020 | Aves |
| Plan de expansión Chile LT 2x500kV Cardones-Polpaico. N Cardones- N Maitencillo-N Pan de Azúcar-N Polpaico. | Atacama, Coquimbo, Valparaíso | 1608 (EIA) | 2015 | Aves |
| Línea de transmisión Lo Aguirre-Alto Melipilla y Alto Melipilla-Rapel | Metropolitana, O´Higgins | 1542 (EIA) | 2018 | Aves |
| Modificación al Trazado Línea Ancoa - Alto Jahuel 2x500kV: Primer Circuito | Metropolitana, O´Higgins, Maule | 73 (DIA) | 2013 | Aves |
| Complementos para el tendido y operación y rectificación del trazado Línea Ancoa - Alto Jahuel 2x500kV: Primer Circuito | Metropolitana, O´Higgins, Maule | 87 (EIA) | 2014 | Aves |
| Proyecto energización en 500 kV de la línea de transmisión Alto Jahuel-Polpaico | Metropolitana, Maule | 2805 (DIA) | 2006 | No propone medidas |
| Línea Ancoa-Alto Jahuel 500 kV: Tendido del Segundo Circuito | Metropolitana, O´Higgins, Maule | 782 (DIA) | 2014 | Aves |
| Línea Ancoa - Alto Jahuel 2 x 500 kV: Primer Circuito | Metropolitana, O´Higgins, Maule | 50 (EIA) | 2012 | Aves |
| Proyecto Nueva línea 2X500 KV Charrúa-Anoca: Tendido del primer conductor | Maule, Biobío | 84 (EIA) | 2015 | Aves |

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Registered offices
Bonn and Eschborn, Germany

Friedrich-Ebert-Allee 32 + 36
53113 Bonn, Deutschland
T +49 228 44 60-0
F +49 228 44 60-17 66

E info@giz.de
I www.giz.de

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn, Deutschland
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15

El proyecto Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile (RH2), es cofinanciado por la Unión Europea y el Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima de Alemania (BMWK), siendo implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y la Agencia Española de Cooperación Internacional al Desarrollo (AECID).