

Relación entre las estructuras físicas asociadas a las energías renovables y la salud y el bienestar del ganado extensivo: revisión bibliográfica

Isabel Blanco-Penedo^{1,2,*}, Carlos Palacios-Riocerezo³, Yolanda Mena⁴
y Javier Álvarez-Rodríguez¹

¹ Departament de Ciència Animal. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agroalimentària, Forestal i de Veterinària, Universitat de Lleida (UdL), Lleida.

² Unidad de Epidemiología Veterinaria, Departamento de Ciencias Clínicas, Universidad de Ciencias Agrarias de Suecia (SLU), Uppsala, Suecia.

³ Area de Producción Animal. Departamento de Construcción y Agronomía. Universidad de Salamanca (USAL), Salamanca.

⁴ Departamento de Agronomía, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad de Sevilla (US), Sevilla.

Resumen

Toda evaluación de riesgos debe basarse en la mejor evidencia científica disponible. Esta revisión recopila y analiza el conocimiento científico disponible sobre los riesgos ambientales asociados a las energías renovables que pueden afectar a la salud y el bienestar animal de las especies ganaderas. Los parques eólicos en funcionamiento pueden provocar estrés a las especies ganaderas mediante determinadas alteraciones principales: ondas acústicas, parpadeo de sombras, ruido de baja frecuencia o infrasonidos (onda sonora inaudible para los humanos, pero sí para otros animales), campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja y radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia. La línea eléctrica del parque eólico puede afectar, entre otros, al uso del hábitat por parte de los rebaños. Por su parte, los huertos solares pueden reducir el estrés térmico del ganado y mejorar la calidad de la vegetación bajo sus estructuras, lo que permitiría aumentar ligeramente la carga ganadera del pasto. La evaluación del impacto de estas estructuras se considera un área de investigación compleja en la que hasta ahora sólo se han proporcionado respuestas parciales, siendo incluso más escasa para especies de ganadería que para fauna silvestre. La investigación futura debería dirigirse a incrementar el conocimiento en cuestiones de conservación del hábitat e identificar medidas de mitigación para superar los efectos negativos de estas estructuras en los animales. Además, debería servir para mejorar su diseño, así como para la prevención sistemática de los impactos que generan.

Palabras clave: Comportamiento animal, estrés, energías renovables, ruido, sombras, campos electromagnéticos.

* Autor para correspondencia: isabel.blancopenedo@udl.cat

Cita del artículo: Blanco-Penedo I., Palacios-Riocerezo C., Mena Y., Álvarez-Rodríguez J. (2025). Relación entre las estructuras físicas asociadas a las energías renovables y la salud y el bienestar del ganado extensivo: revisión bibliográfica. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 121(1): 17-38. <https://doi.org/10.12706/itea.2024.014>



Relationship between physical structures associated with renewable energy and the health and welfare of extensive livestock: a literature review

Abstract

Any risk assessment should be based on the best available scientific evidence. This review compiles and analyses the available scientific evidence on the environmental risks associated with renewable energies that may affect the health and welfare of farm animals. The operation of wind farms can cause stress to livestock species through certain major disturbances: acoustic waves; shadow flicker, low frequency noise or infrasound (sound waves that are inaudible to humans but not to other animals), extremely low frequency magnetic fields, and high frequency electromagnetic radiation. Among other things, transmission line can affect, the use of habitat by livestock. Solar farms can reduce the heat stress in livestock and improve the nutritional quality of the vegetation under their structures, which would allow a small increase in the carrying capacity of pastures. Assessing the impact of these structures is considered a complex area of research, with so far only partial answers, and even less for livestock species than for wildlife. Future research should aim to increase knowledge on habitat conservation issues and identify mitigation measures to overcome the negative effects of these structures on animals. It should also be used to improve the design, to systematically prevent the impacts they cause.

Keywords: Animal behavior, stress, renewable energies, noise, shadows, electromagnetic fields.

Introducción

Diferentes países están incrementando la cuota de energías renovables (especialmente eólica y fotovoltaica) en su diversificación energética, ya que estas fuentes constituyen alternativas a los combustibles fósiles, contribuyendo así a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (OECD, 2012). En muchos casos son países con una importante actividad ganadera, que deben emplear un enfoque integrado del paisaje para conciliar desarrollo económico y sostenibilidad. Para establecer una conexión positiva entre el desarrollo de las energías renovables y el crecimiento económico agrario local vinculado a la producción de alimentos, se necesitan estrategias adaptadas a las condiciones locales (OECD, 2012).

En España en torno al 42 % de la energía empleada para generar electricidad provino de fuentes renovables en el año 2022. Se prevé que las renovables llegarán a suponer el 50 % de la diversificación energética próximamente, siendo el primer país de entre las mayores economías de Europa en conseguirlo (PNIEC, 2020).

Hasta la fecha, se describe una falta de integración adecuada en la ordenación territorial y paisajística regional y por tanto del respaldo firme de la población local en diferentes regiones de la Península (Silva y Sareen, 2021; Barral *et al.*, 2023). La implantación de estos sistemas alternativos de producción de energía está haciendo cambiar los usos del suelo, reduciendo la superficie de uso agrícola y ganadero o provocando interacciones entre los animales y estas infraestructuras; lo que requerirá una adaptación por parte de los animales que ya hacían uso de dichos espacios. Un primer paso por tanto es evaluar los posibles impactos sobre las especies ganaderas en manejo extensivo.

En un intento de avanzar hacia la sostenibilidad de ambos sectores (energías renovables y ganadería), se deberían conjugar la instalación de proyectos renovables con el aprovechamiento de los múltiples servicios ambientales que la ganadería extensiva ofrece. En los últimos años algunos países están apostando por la energía agrolvoltaica, que consiste en aprovechar una misma superficie de terreno tanto para obtener ener-

gía solar como para llevar a cabo actividades agrícolas y ganaderas, aunque todavía hay un gran campo de investigación por desarrollar al respecto.

El bienestar del ganado es una prioridad para garantizar la sostenibilidad en los sistemas ganaderos, optimizando su productividad y avanzando en la seguridad alimentaria (Molitorisová y Burke, 2022). Una de las definiciones de bienestar animal más citadas en la bibliografía científica internacional (Broom, 1986) expresa que “el bienestar de un animal es el estado en que se encuentra dicho animal en relación con sus intentos de afrontar su entorno”. Por lo tanto, el bienestar animal está relacionado con la capacidad que tiene el animal de afrontar las posibles dificultades causadas por el ambiente y el manejo. Teóricamente, podrían derivarse tres situaciones distintas: 1) el entorno productivo es particularmente difícil para el animal que no puede afrontar con éxito las dificultades con que se encuentra y, por tanto, el animal muere o sufre enfermedades multifactoriales; 2) el entorno no es tan difícil para el animal, de modo que éste se puede finalmente adaptar, aunque la adaptación tiene un coste biológico debido al estrés prolongado y a sus intentos por adaptarse; 3) el ambiente es lo suficientemente adecuado, adaptándose sin dificultad. En este caso, el bienestar del animal sería óptimo y, al satisfacerse sus necesidades, incluso puede alcanzar experiencias englobadas en el bienestar positivo.

El objetivo de esta revisión bibliográfica es recopilar y analizar la información científica disponible sobre los efectos de las energías renovables (infraestructuras eólica principalmente y agrovoltaica, así como las líneas eléctricas de alta tensión asociadas) en el bienestar animal de las especies ganaderas en el contexto de la ganadería extensiva. El análisis pretende además identificar dónde y cuándo los sistemas de ganadería extensiva ofrecen oportunidades para experiencias

neutras o positivas a los animales en presencia de estas infraestructuras y los aspectos en los que pueden producirse experiencias negativas para que sirvan de base en la evaluación integrada de las estructuras asociadas a las energías renovables y en la planificación de la mitigación de los efectos adversos que pueden ocasionar a la ganadería extensiva.

Metodología y búsqueda de bibliografía científica

La búsqueda bibliográfica se ha realizado en las bases de datos Web of Science, Pubmed y CAB abstracts. Durante la búsqueda bibliográfica, se ha seguido el método estándar de recopilación de conocimientos científicos. La compilación bibliográfica se realizó en dos fechas: octubre 2020 y octubre 2023.

Las publicaciones obtenidas en las dos búsquedas se clasificaron para eliminar publicaciones fuera de tema. Los criterios de selección para esta clasificación se establecieron antes de la búsqueda. Se han incluido (criterios de inclusión) estudios de revistas científicas revisadas por pares desarrollados principalmente bajo condiciones europeas y se excluye (criterios de exclusión) cualquier información procedente de literatura gris. Tras la selección final, un total 73 publicaciones (61 sobre aerogeneradores y sus aspectos legislativos o para explicar los mecanismos de respuesta de los animales a estas infraestructuras y 12 sobre paneles solares) fueron pertinentes para incluirlas como resultados de la búsqueda sistemática.

Para el análisis de la información, se ha empleado la herramienta para la evaluación de riesgos rápida elaborada por el ECDC (2019) (Rapid Risk Assessments, RRA en inglés), y 2) una guía sobre evaluación de riesgos para el bienestar animal elaborada por la EFSA (2009). Los RRA se llevan a cabo en las etapas

iniciales de un evento o incidente de posible preocupación. Los RRA integran: búsqueda bibliográfica y extracción de evidencias, evaluación de la evidencia y estimación del riesgo en el contexto específico. En una evaluación formal del riesgo de bienestar animal se comprenden tres pasos: (1) evaluación de la exposición; (2) caracterización de consecuencias; y (3) caracterización de riesgos. Es importante señalar que algunas evaluaciones de riesgos consideran una sola exposición y una sola consecuencia. Sin embargo, para la evaluación del riesgo de bienestar animal, siendo el bienestar animal un concepto multidimensional, a menudo es necesario considerar múltiples factores *versus* consecuencias únicas y múltiples (EFSA, 2009).

Estas instalaciones deben de someterse al principio de intervención mínima por su repercusión en todos los aspectos de la vida animal, medioambiental y humana (Colás Laguardia, 2023).

Para abordar una respuesta sobre los impactos de las energías renovables en los mamíferos terrestres, más concretamente en las especies ganaderas, es necesario extraer los hallazgos procedentes de la investigación relacionada (en muchos casos en animales silvestres) y realizar razonamientos con base científica sobre cómo estas especies ganaderas podrían verse afectadas ante diferentes agentes físicos asociados a la instalación de un nuevo parque eólico o de un huerto solar.

Efecto de los aerogeneradores sobre la ganadería extensiva

Los principales efectos de los parques eólicos quedan resumidos en la Tabla 1.

Los aerogeneradores pueden afectar al nivel de estrés en los animales a través de las siguientes alteraciones descritas: 1) ondas acústicas audibles 2) parpadeo de sombras, 3) so-

nidos no audibles o infrasonidos, 4) campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja; radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia y corrientes parasitarias inducidas por campos electromagnéticos pero también ligadas a pérdidas eléctricas y 5) cambios de hábitat de los animales.

1) Ondas acústicas audibles

Numerosos estudios científicos han constatado la sensibilidad de las especies animales ganaderas al sonido y los niveles a los que están expuestos. Ya sea crónico o intermitente, el ruido se describe como un sonido no deseado y puede explicarse en términos que incluyen su frecuencia, intensidad, espectro de frecuencia y forma de la presión sonora a lo largo del tiempo (Burn, 2008).

Los aerogeneradores producen ruido debido al funcionamiento de todos los elementos presentes en la góndola y al movimiento del aire alrededor de cada pala y las vibraciones del suelo, así como al movimiento del rotor. Los ruidos más destacables producidos por la maquinaria en la fase de construcción podrían alcanzar los valores umbrales límite documentados para ganadería en la bibliografía científica (por encima de 75 y hasta 105 dB).

Sensibilidad al ruido

En base a la bibliografía revisada, los umbrales de incomodidad del ganado se indican entre 90 y 100 dB y el daño físico ocurre al alcanzarse 110 dB (registrado, por ejemplo, en sobrevuelos de aviones a baja altitud o incluso en algunas salas de ordeño) (Phillips, 2009), lo que provoca un comportamiento adverso, como patadas o pasos rápidos de forma lateral (Morgan y Tromborg, 2007). El ganado bovino es muy sensible a los sonidos de alta frecuencia y tiene un rango de audición más amplio que el de los humanos (rango auditivo de 23 a 35 000 Hz). Puede detectar incluso tonos y sonidos más bajos que otras especies ganaderas (Heffner y Heffner, 1993). Dentro del

Tabla 1. Resumen de los efectos de la energía eólica sobre las especies ganaderas. La lista sólo incluye los factores cuyos efectos sobre las especies de ganadería están documentados (adaptado de Helldin et al., 2012).

Table 1. Summary of the effects of wind energy on livestock species. The list only includes factors whose effects on livestock species are documented (adapted from Helldin et al., 2012).

Factor de impacto	Fiabilidad (1-4)	Efecto (negativo)	Alcance espacial	Alcance Temporal
Perturbaciones durante la construcción	2	Moderado	Menor	Corto-Largo
Perturbaciones acústicas/visuales de las turbinas en funcionamiento	3	Débil	Menor	Largo
Perturbaciones causadas por el tráfico de utilitario	2	Débil	Menor	Largo
Cambios de hábitat	2	Débil-Moderado	Menor	Largo/Permanente
Corredor líneas eléctricas y conductividad del suelo	1	Moderado	Menor	Largo
Electromagnetismo	2	Debil	Menor	Largo

Fiabilidad (1: Faltan estudios; la evaluación se basa en el conocimiento general de especies y comportamientos; 2: La bibliografía es muy limitada; los conocimientos se derivan de campos cercanos, pero aún así proporciona algunos fundamentos para una evaluación con base científica; 3: La base de conocimientos proporciona un fundamento adecuado para una evaluación con base científica; 4: La base de conocimientos es sólida y proporciona una evaluación fiable). **Efecto** (Débil: Efectos pequeños en un número limitado de individuos; los resultados de diferentes estudios pueden ser contradictorios; Moderado: Efectos evidentes, pero no fuertes: intermedio entre débil y fuerte. Fuerte: efectos importantes en una gran parte de los individuos afectados). **Alcance espacial** (Pequeño: Los efectos se limitan al parque eólico o a la zona situada a un par de cientos de metros de las turbinas, las carreteras de acceso y las líneas eléctricas de cientos de metros de las turbinas, carreteras de acceso y líneas eléctricas. Grande: Los efectos se extienden fuera de las inmediaciones del parque eólico). **Alcance temporal** (Corto: los efectos sólo se producen durante la construcción y/o el desmantelamiento, Largo: Los efectos se producen durante la construcción, el funcionamiento y el desmantelamiento y Permanente: Los efectos permanecen incluso después de un posible desmantelamiento).

ganado bovino, las razas de aptitud lecheras son más sensibles al ruido que las razas de aptitud cárnica (Lanier et al., 2000). El umbral de ruido que se espera que cause una respuesta conductual en el ganado es de 85 a 90 dB (Olczak et al., 2023). El rango auditivo de las ovejas es de 125 Hz a 40 kHz con la frecuencia más sensible un poco más alta que la del bovino y porcino, que alcanza 10 kHz. Los ruidos superiores al umbral provocan estrés,

miedo y estampida (fuerte respuesta de sobresalto) (Morgan y Tromborg, 2007). A pesar de tener un mayor rango de detección auditiva, el ganado bovino tiene mayor dificultad para localizar el origen de los sonidos y emplea su vista para determinar la fuente del sonido. Hasta que el animal es capaz de localizar el sonido, éste permanece en alarma debido a su comportamiento natural de animal depredado.

Efectos del ruido sobre los animales

Existen diversos estudios que muestran que los sonidos repentinos e inesperados especialmente con un volumen alto pueden ser particularmente estresantes para el ganado y parecen tener un impacto en el comportamiento animal (Arnold *et al.*, 2007; Brouček, 2014). El ruido de alta intensidad inesperado (por encima de 110 dB), como sobrevuelos de aviones a baja altitud durante el ordeño puede reducir la eficacia del reflejo de eyeción de leche, aumentar la leche residual y, por tanto, conducir a una reducción general de la producción de leche (Morgan y Tromborg, 2007). El ruido de las estructuras eólicas que es intenso y se produce de manera impredecible, puede afectar negativamente el estado de bienestar de algunos animales e inducir una respuesta de estrés de curso crónico, según se ha constatado en animales de núcleos zoológicos (Jakob-Hof *et al.*, 2019). Este tipo de respuesta podría sucederles a las especies de ganadería que, de forma análoga, viven en espacios confinados sin capacidad de retirada.

En base a la bibliografía disponible, cuando las turbinas eólicas se encuentran a 152 m sobre el nivel del suelo, el ganado se asusta al comenzar a funcionar el aerogenerador y corre distancias cortas cada vez que se reanuda la actividad de las turbinas, llegando a normalizarse tras un periodo de tiempo. Los sonidos nuevos y repentinos parecen afectar más al comportamiento del ganado que el ruido alto continuo (Head *et al.*, 1993; Arnold *et al.*, 2007). Sin embargo, no es posible conocer cuán grande será la respuesta de evitación, al estar los animales limitados por las características de la zona geográfica más distante a la turbina a la que puedan acceder, pero se desconoce si vuelven al área más próxima a la turbina y cuánto tiempo transcurre si se revierte esta situación. Por otro lado, fuentes científicas indican que el ruido ambiental, especialmente de curso crónico, es

un factor perjudicial para la salud y bienestar de los animales (OIE, 2018). El ruido puede provocar cambios en los parámetros fisiológicos (aceleración del ritmo cardíaco y elevación de los niveles de cortisol) lo que conduce a un debilitamiento de la inmunidad y a cambios patológicos y, en consecuencia, a una reducción de la productividad (lactancia, engorde, retraso del celo, entre otros) (Olczak *et al.*, 2023). Además, la exposición prolongada al ruido puede provocar trastornos del comportamiento o el desarrollo de ansiedad y miedo. El ruido de las turbinas eólicas obstaculiza la comunicación vocal de los rumiantes y la capacidad para escuchar (detección) a los depredadores, lo que les conduce a modificar su comportamiento en la búsqueda de alimento u homeostasis (funcionamiento adecuado del organismo) y por ende del uso del hábitat (Rabin *et al.*, 2006; Shannon *et al.*, 2016). En esa exposición crónica, también puede disminuir su detección a otras señales ambientales y aumentar las tensiones con los humanos (Brown *et al.*, 2012).

Otros trabajos científicos documentan que el ruido afecta directamente a la fisiología reproductiva y al gasto energético del animal (Escribano-Avila *et al.*, 2013). Pueden además tener efectos indirectos sobre la dinámica del rebaño a través de cambios en el uso del entorno, reproducción y comportamiento materno (cuidado de las crías) (Rabin *et al.*, 2003).

Se ha documentado además una reducción de apetito de los animales (Brouček, 2014) ante la emisión de sonido a la frecuencia de 2 kHz en ruido de 75 dB, 85 dB y 95 dB. Algers y Jensen (1991) encontraron una reducción en la producción de leche en vacas expuestas dos veces a 80-100 dB de ruido diario (1,4 h). Si bien la exposición inmediata a un ruido de alta intensidad (105 dB) conduce a una disminución del consumo de alimento y del rendimiento lechero, un incremento gradual de ruido a 105 dB conlleva una respuesta menos negativa. Gygax y Nosal (2006)

investigaron el efecto de la vibración (entre 0,1 y 1 m/s²) y el ruido (entre 34 y 130 dB) en el recuento de células somáticas en leche en 50 ganaderías. Los recuentos de células somáticas se incrementaron al aumentar la intensidad de vibración, pero no con ruido acústico. En otras especies domésticas, Otten et al. (2004) encontraron un aumento en las concentraciones de cortisol, noradrenalina y adrenalina en cerdos expuestos a un ruido prolongado o intermitente de 90 dB. En ese sentido, las normas de bienestar animal para ganado porcino ya recogen la necesidad de evitar exposiciones de los animales a ruido continuo superiores a 85 dB (Real Decreto 159/2023).

Es importante resaltar que la magnitud de los efectos negativos varía según el tipo y tamaño de la instalación del parque eólico y parece ser especialmente determinante en el análisis de riesgos la ubicación del parque eólico (si está situada en hábitat degradado o inalterado, que suele ser la mayormente documentada) y la etapa del ciclo de vida de la instalación (construcción, funcionamiento, mantenimiento o desmantelamiento) (Hell-din et al., 2012; Łopucki et al., 2017).

2) Efectos asociados al parpadeo de la sombra

Los animales con posibilidad de ser depredados (como los rumiantes domésticos) reaccionan a los movimientos que entran dentro de su campo de visión (Heesy, 2004; D'Angelo et al., 2008) y pueden, por lo tanto, reaccionar al movimiento de las palas de la turbina, tanto al impacto visual como a la vibración y al parpadeo de la luz de las palas giratorias (Skarin et al., 2018).

Es de destacar que en los animales la visión del espectro de colores se limita a los colores azul y verde, perciben los movimientos con cierta sensibilidad, pero con menos precisión

que los humanos (el ganado ve los movimientos de forma espasmódica, además su campo de visión es de 300 grados centesimales con un punto ciego en la parte trasera y una visión binocular de sólo 55 a 60 grados hacia adelante). Además, los animales tienen dificultad con los contrastes de luz y sombra (Lindkvist et al., 2023).

El parpadeo de sombras de las turbinas eólicas (en inglés "shadow flicker") se define como cambios alternos en la intensidad de la luz causados por las palas giratorias que proyectan sombras en el suelo y objetos estacionarios (Hell-din et al., 2012). El impacto dependerá del ángulo del sol, estación del año y latitud. Un mayor impacto visual de las sombras se describe: 1) en aquellos pastos donde el cambio en la intensidad de la luz es más notorio; 2) cuando las turbinas giran entre 5 y 14 Hz (por debajo de 2,5 Hz y por encima de 40 Hz causarían menor impacto; 3) en áreas al este-noreste y oeste-noroeste de una turbina y 4) durante el invierno, ya que el sol está más bajo en el cielo que en verano, por lo que el trazado diario del efecto de parpadeo de la sombra se extenderá más lejos de la turbina.

El ganado en pastoreo se puede ver afectado por la rápida atenuación y brillo en momentos de sol brillante. Diferentes estudios y normativas sobre este efecto de parpadeo de sombras abogan como principal medida de mitigación el espaciamiento de las instalaciones eólicas (ej. Real Decreto 32/2006, mencionado en Martínez-Tossas et al., 2023).

Existen normativas, por ejemplo en Alemania (región de Baviera) y en Polonia que son más restrictivas empleando la regla 10 x diámetro del rotor en la planificación de la ubicación de la instalación, aunque debido a la crisis energética se han relajado, permitiendo excepciones (Mostegl et al., 2017) y, en cualquier caso, no se delimitan las distancias a las naves o lugares donde estén los animales.

3) Efectos asociados a sonidos no audibles o infrasonidos

En estudios realizados en seres humanos que viven a 2 km de un parque eólico se han documentado problemas de salud, con síntomas que van desde dolores de cabeza y trastornos del sueño hasta grados de estrés mayores (Pedersen et al., 2009; Shepherd et al., 2011). Tales síntomas se conocen como el síndrome de la turbina eólica y se atribuyen ampliamente a sonidos no audibles o infrasonidos (frecuencia inferior a 20 Hz) (Farboud et al., 2013; Harrison, 2015). Análogamente, teniendo en cuenta la capacidad de percepción auditiva del ganado, podrían producirse impactos similares en especies de ganadería.

En el caso de animales silvestres, en muestras de pelo de tejones localizados a 1 km de un parque eólico, se determinaron niveles de cortisol (indicador de estrés crónico) un 264 % superiores que en tejones a 10 km de un parque eólico. Esto demuestra que los tejones afectados sufren de una mayor actividad hipotálamo-pituitaria-suprarrenal y estarían estresados. Debe destacarse que no se encontraron diferencias entre los niveles de cortisol de tejones que viven cerca de parques eólicos al inicio de su funcionamiento y tras un periodo de 3 años, lo que podría indicar que estos animales no son capaces de habituarse a la perturbación de la turbina mientras que otros estudios muestran cierta adaptación en carnívoros, por lo que se puede concluir que la posibilidad de adaptación depende de la especie. Además, los niveles de cortisol en los tejones afectados no variaron en relación con la distancia de las turbinas en un radio de 1 km, independientemente de la estructura o número de turbinas presentes (Agnew et al., 2016).

En ganaderías porcinas, se estudió el efecto de turbinas eólicas a tres distancias diferentes (50, 500 y 1000 m de distancia de granjas porcinas) sobre las propiedades fisicoquímicas

y la composición de ácidos grasos de los músculos de las regiones corporales del lomo y cuello en sus animales (Karwowska et al., 2015). Se observó que el músculo *longissimus dorsi* de los cerdos criados a 50 m del aerogenerador tenía un contenido de hierro significativamente inferior al de los cerdos criados a 500 y 1000 m y la concentración de ácido α -linolénico (C18:3 n-3) (ácido graso esencial) en músculo disminuyó a medida que aumentaba la distancia a la turbina eólica, lo que podría relacionarse con cambios en el comportamiento alimentario de los animales en áreas próximas a las turbinas.

4) Efectos asociados a las líneas eléctricas de alto voltaje y campos geomagnéticos

Orientación espacial de los animales

Los receptores situados en la piel de los animales se utilizan para detectar presión, movimiento, temperatura y algunas condiciones patológicas dañinas como la inflamación. El ganado percibe temperaturas ambientales extremas, humedades relativas y/o velocidad del viento a través de termorreceptores, sequedad de la piel (particularmente en la garganta y fosas nasales) y mecanorreceptores. De esta manera, los animales aprenden a distinguir cuáles son los rangos de temperatura ambiental que coinciden con su zona de termoneutralidad y modifican su comportamiento en consecuencia, para encontrar las zonas más favorables. En el caso de los bovinos, son capaces de percibir otras sensaciones, siendo más sensibles a los campos eléctricos y magnéticos. Este efecto se incrementa cuando el aire es muy húmedo. Basándose en las características sensoriales de los organismos vivos, parece que han evolucionado al menos dos receptores diferentes para la detección de campos magnéticos, pero su ubicación celular y su base molecular no se han dilucidado por el momento (Pophof et al., 2023).

El campo magnético proporciona a los mamíferos su indicador de rumbo (orientación-dirección) para sincronizar el movimiento del grupo o rebaño (por ejemplo, durante el escape a un depredador), navegar y moverse por el planeta sin perderse. Los animales desarrollan lo que se conoce como magnetorrecepción que es la capacidad para usar el campo magnético de la tierra en su beneficio. La estrategia de alineación puede ayudar a los animales a “leer” de manera confiable y precisa sus mapas cognitivos y/o extender el rango de sus mapas cuando exploran entornos desconocidos. De esta forma, el ganado, al igual que otros animales terrestres, es sensible a los campos electromagnéticos que son necesarios para su percepción espacial y para su comportamiento.

Un estudio realizado en ovejas en pastoreo libre portadoras de dispositivos de posicionamiento global-GPS reveló que los animales tenían un comportamiento espacial diario circadiano y que sus movimientos estaban dirigidos mayormente en direcciones suroeste y noroeste que coincidían con la dirección de las curvas de nivel y los límites de la zona de pastoreo, sugiriendo que las ovejas pueden tener un mapa cognitivo de la zona de pastoreo (Plaza et al., 2022). Como se demostró, los cambios en las condiciones de pastoreo pueden modificar las conductas naturales de los animales.

El primer estudio científico sobre alineación magnética en mamíferos muestra que la orientación axial del cuerpo de cada animal dentro de un rebaño durante el descanso y el pastoreo se desvía significativamente del instinto que genera la magnetorrecepción en las proximidades de los parques eólicos (Begall et al., 2008). En el estudio mencionado, se utilizaron imágenes aéreas de Google Earth recopiladas de diferentes países en los seis continentes demostrando que el ganado prefiere alinear sus cuerpos a lo largo del eje Norte-Sur (Begall et al., 2008), hecho que se ve distorsionado en las proximidades de los parques eólicos.

Según lo descrito, el comportamiento de alineación depende de la densidad del rebaño durante el pastoreo. En un estudio posterior se registraron las posiciones de 2.235 individuos pertenecientes a 74 rebaños que se categorizaron según su densidad (atendiendo al contexto específico de su paisaje agroganadero). En rebaños bovinos con baja densidad (aproximadamente menos de seis animales por 1000 m²), los animales mostraron preferencia por la dirección Norte-Sur, mientras que en rebaños con densidad media (más de 6 animales, pero menos de 12 animales por 1000 m²) esta alineación se debilitó y la orientación corporal de los bovinos mantenidos en densidades más altas (más de 13 bovinos por 1000 m², lo que corresponde a una distancia de menos de 8 m entre individuos) era indistinguible de la aleatoria. Los autores argumentaron que la alineación magnética podría estar enmascarada por interacciones sociales en rebaños de alta densidad en la que los animales compiten por los recursos (Slaby et al., 2013), siendo en este caso una competencia por el espacio. Además, descubrieron que las distancias entre animales dentro de los rebaños (densidad del rebaño) afectan a su preferencia Norte-Sur, un nuevo fenómeno que da una idea de la importancia biológica de la alineación.

Las líneas eléctricas de alto voltaje interrumpen la alineación natural Norte-Sur de animales como vacas y cérvidos con el campo geomagnético. El ganado expuesto a campos magnéticos directamente debajo o en las proximidades de las líneas eléctricas se disponen en varias direcciones magnéticas exhibiendo distintos patrones de alineación, es decir, quedando aleatorizada su alineación natural y distorsionada su capacidad de orientación. En los aerogeneradores, las radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia se asocian a los equipos de producción y transformación, que están ubicados en la góndola a una altura de alrededor de 100 m y al transporte de electricidad. Este efecto perturbador

de los campos magnéticos de baja frecuencia disminuye con la distancia a las turbinas eólicas como también se mencionó para el impacto del ruido. Estos hallazgos constituyen una evidencia de impacto en grandes mamíferos al describirse cambios de comportamiento ante cambios en los campos magnéticos (Burda *et al.*, 2009).

La sensibilidad del ganado a la corriente eléctrica y a los campos magnéticos es mayor que la de los humanos y varía entre individuos dentro de la misma especie, viéndose influenciada por las estaciones y el medio ambiente (aumento en el número de aparatos eléctricos, conductividad del equipo metálico en contacto con los animales y la humedad del suelo) (Lanier *et al.*, 2000). En base a RRA, estos factores de riesgo alcanzarían mayor relevancia (riesgo mayor) en las zonas más húmedas.

El factor más determinante para que la electricidad produzca un daño en el animal es la intensidad de la corriente que circula por un tejido o fluido corporal. En animales se ha descrito sensación de hormigueo con intensidades eléctricas de 1 mA y percepción de dolor con 1-4 mA (Schulze *et al.*, 2016). La resistencia eléctrica es alta para las aves de corral y el ovino con lana (al igual que sucede en los aturdimientos eléctricos al sacrificio; EFSA, 2021), y es más baja para las vacas y los cerdos, es decir, a los segundos les afecta más, presentando cambios de comportamiento como la evitación de la zona afectada. La resistencia de los humanos es de 2 a 10 veces mayor que la de los animales y además influye el hecho de que el humano va equipado con calzado aislante.

El ganado bovino puede detectar fácilmente cambios en las corrientes eléctricas de bajo nivel (Reinemann, 2012) que a menudo existen en las salas de ordeño, donde las condiciones de humedad y la conexión de la maquinaria a sus ubres hacen que el ganado cierre el circuito entre los dos polos del energizador, pasando la

electricidad por su cuerpo y recibiendo la descarga. Por tanto, el entorno inmediato que rodea al ganado puede favorecer la aparición de estas corrientes parasitarias (también denominadas "voltaje de contacto animal").

Los campos electromagnéticos y las pérdidas eléctricas por acoplamientos entre instalaciones eléctricas y elementos metálicos (bebedero, cornadiza, entre otros) con aislamientos deficientes se manifiestan con descargas eléctricas recibidas por los animales al entrar en contacto con ambos puntos simultáneamente por lo que la corriente atraviesa el cuerpo del animal y vuelve al suelo a través de las extremidades (al establecerse una corriente entre las patas delanteras y traseras del animal) (Whiting, 2016).

Este fenómeno eléctrico también puede presentarse a medida que las estructuras metálicas se deterioran con el tiempo, lo que puede conducir a un efecto galvánico (tierra que comienza como conductor pobre y luego se convierte en un buen conductor de electricidad). Appleman y Gustafson (1985) establecieron que, siempre que los voltajes en el sistema neutro eléctrico de la granja permanezcan por debajo de 0,35 V, menos del 10 % de las vacas de leche de un rebaño perciben cualquier corriente eléctrica al entrar en contacto con el equipo conductor de puesta a tierra. A partir de 0,7 V observaron modificaciones del comportamiento y determinaron cambios en la respuesta endocrina de las vacas al alcanzar una intensidad eléctrica de al menos 8 mA.

El término corriente parasitaria suele aplicarse también a campos electromagnéticos, pero la exposición de los animales al campo electromagnético no permite establecer una asociación con síntomas patognomónicos para establecer un RRA. En realidad, las alteraciones observadas, como mastitis, cojera, y/o desequilibrios hormonales, pueden tener su origen en varias causas. Del mismo modo, los cambios de comportamiento observados

no son específicos de una perturbación eléctrica y/o magnética. Sin embargo, el hecho de que una vaca, que se supone que debe beber alrededor de 80 litros de agua por día sumergiendo su hocico en el agua, comience a beber como lo haría un gato, sugiere que las perturbaciones eléctricas pueden estar afectando al comportamiento del animal (Appleman y Gustafson 1985). Otra señal podría ser, como ya se ha mencionado, la negativa de un animal a ir a lugares específicos dentro de la granja con alto aparataje eléctrico (por ejemplo, a la instalación de ordeño) (Appleman y Gustafson, 1985).

El diagnóstico se basa en la observación de los cambios de comportamiento y en la realización de mediciones eléctricas. Para su prevención, se recomiendan revisiones periódicas de los niveles de corriente eléctrica, especialmente cuando se produzcan cambios en los sistemas eléctricos en el entorno donde se mantienen los animales.

5) Efectos de cambio del uso del hábitat disponible por los animales

El uso del hábitat difiere según la especie animal. Los herbívoros silvestres (como el corzo y la liebre europea) evitan las proximidades de los parques eólicos y la proximidad a las turbinas (Łopucki *et al.*, 2017). Los niveles de ruido altos y permanentes pueden ser lo suficientemente molestos para que estas especies transiten por esas zonas con menos frecuencia y pasen menos tiempo por allí. En el caso de otros mamíferos herbívoros con fuerte comportamiento social, que operan mediante la formación de grupos, se observa un mayor efecto de estas estructuras y una reducción de los patrones de movimiento y de la capacidad de utilización de los pastos (Skogland, 1984; Reimers *et al.*, 2014).

En la puesta en funcionamiento de un parque eólico, el impacto más descrito es el cambio de entorno por parte de los animales silves-

tres, pero debe considerarse que las especies de ganadería no pueden evitar el lugar donde habitan o pastan. Por tanto, al estar en áreas acotadas y no tener capacidad para seleccionar otras áreas de pastoreo para minimizar el estrés, el ganado desarrolla una alteración mayor que la de los animales silvestres y, por tanto, el término más correcto es una modificación de curso más crónico en el uso del hábitat, donde el uso real de la tierra que empleen los animales será menor que el disponible. Su comportamiento natural (alimentación, descanso y comportamiento social durante la actividad del pastoreo) puede verse dificultado por su capacidad de conseguir alimento en zonas que ya no consideren seguras. En especies más gregarias (como es el caso de los rumiantes domésticos), se observa una mayor vulnerabilidad a estas estructuras y una reducción de los patrones de movimiento y de utilización de los pastos (Elgar, 1989). Es necesario mencionar que, además, la presión de pastoreo aumentará en las áreas más lejanas posibles a estas estructuras provocando sobrepastoreo y resultando, en cualquier caso, en una reducción en cómputo total del pastoreo por parte de los animales (Larsen, 2002). El sobrepastoreo reduce la utilidad, la productividad y la biodiversidad de la tierra y es una de las causas principales de erosión. El sobrepastoreo también puede causar la propagación de especies invasoras, de plantas no nativas y malezas.

Un estudio que se realizó para observar las consecuencias de someter a vacas en pastoreo a altas cargas ganaderas, sobre la temperatura subcutánea, la frecuencia cardíaca y su actividad, aportó información sobre el efecto de la adaptación de las vacas que pasan de bajas a altas cargas ganaderas. Si bien no encontraron diferencias significativas entre ambas, sí se observó un efecto de estas diferentes condiciones de espacio y cargas ganaderas en los ritmos circadianos de la temperatura subcutánea y la frecuencia cardíaca, lo que demuestra que aunque de

forma clínica no se adviertan translocaciones de sus estándares fisiológicos, sí cambian las rutinas naturales de fluctuación diaria (Palacios et al., 2021).

En la fase de funcionamiento de los parques eólicos se ha registrado un impacto adverso más fuerte en la selección del hábitat que en la fase de construcción (Schöll y Nopp-Mayr, 2021). No obstante, en el caso de animales domésticos, deberíamos referirnos a uso del hábitat puesto que como se ha mencionado tienen limitada su capacidad de seleccionar el mismo. La información sobre la topografía y el tipo de cobertura vegetal del suelo junto con las posiciones de las turbinas eólicas podría ayudar a identificar hábitats sensibles y mejorar la planificación y ubicación de los parques eólicos.

Tras los trabajos de construcción de un parque eólico se ha descrito una rápida habituación a la perturbación en animales carnívoros salvajes. Sin embargo, la capacidad de adaptación varía según la especie, el sexo, la edad, el individuo, la época del año, el tipo y la frecuencia de las perturbaciones, por lo que, en general, no se puede presuponer la adaptación de los animales domésticos, que son además animales depredados (y no depredadores), ya que cuentan con mayores niveles de alarma (defensa contra la depredación) (Moreno Grande et al., 2016).

Efectos de los huertos solares sobre la ganadería extensiva

Los paneles solares colocados en los huertos fotovoltaicos suelen describirse en la totalidad de los pocos estudios científicos disponibles como una herramienta para zonas degradadas (tierras con baja productividad agrícola) que puede generar sinergias con la ganadería (Nordberg et al., 2021). Para que las ventajas sean mayores que los inconvenientes parece ser además fundamental evitar la falta de planificación, el uso indiscriminado y las instalaciones en zonas de alto valor agrícola o medioambiental.

Los trabajos sobre la coexistencia de paneles solares y ganadería se han realizado mayoritariamente en ganado ovino en contextos específicos. En zonas tropicales en Brasil, la sombra de los paneles solares parece reducir el impacto de la radiación solar sobre los animales en pastoreo (Maia et al., 2020). La sombra de los paneles solares reduce la carga de calor radiante en los animales en un 30 %, la temperatura de la superficie de la lana de las ovejas en 10 °C y la temperatura de la piel de las ovejas en 1,5 °C, lo que contribuye a reducir su estrés térmico (Fonsêca et al., 2023).

En contextos de pastoreo de ganado ovino en Estados Unidos, los paneles solares parecen ser un recurso para mejorar el aprovechamiento y la composición de la vegetación de pastos permanentes, cuya digestibilidad y contenido de proteína bruta se vería beneficiada por la presencia de sombra y humedad del suelo (Kampherbeek et al., 2023). En ese mismo estudio, se comprobó que un pastoreo rotacional intensivo con una alta carga ganadera durante un día (800 ovejas/hectárea) provocaba un menor tiempo de pastoreo medio de los animales a lo largo de 16 días de estudio, respecto a un aprovechamiento con la misma carga ganadera pero en un intervalo rotacional de cuatro días. Los autores atribuyeron estos hallazgos a las condiciones de senescencia del forraje del estudio, que mostraba una baja calidad nutritiva media (70-75 % de fibra neutro-detergente y 4-8 % de proteína bruta), que fue mitigada por las ovejas con los intervalos de aprovechamiento de cuatro días, ya que pudieron realizar una mayor actividad de exploración y selección de especies y partes del forraje más palatables para su consumo voluntario. Las parcelas con paneles solares parecen mejorar el tiempo de descanso (animal acostado) y rumia en de-

trimento del tiempo de reposo de pie, independientemente de la intensidad de la rotación de uso. Esta modificación de la conducta podría indicar una mejora del bienestar animal, que a su vez se vería beneficiado por la posibilidad de que las ovejas puedan rascarse contra los postes en los que se montan los paneles solares (Kampherbeek *et al.*, 2023).

En una revisión bibliográfica sobre el uso compartido de la tierra entre paneles solares y producción forrajera, Mamun *et al.* (2022) identificaron que algunos estudios mostraban una menor temperatura del suelo e incidencia de radiación solar fotosintética debajo de los paneles los cuales, a su vez, ofrecían sombra al ganado. En dicha revisión, los autores argumentaron que el pastoreo era una técnica de interés para controlar la vegetación, pero que los costes de la instalación fotovoltaica podrían aumentar al tener que elevar la altura de los paneles para que pudieran acceder los animales.

En este sentido, Zaplata (2023) expuso que los parques solares cuya vegetación se aprovecha mediante pastoreo requieren además de una mayor inversión en vallados para proteger al ganado de depredadores silvestres, favoreciendo así su coexistencia y la conexión entre la generación de energía renovable, la preservación de la biodiversidad y las demandas sociales.

Andrew *et al.* (2021) evaluaron en dos años naturales el efecto de placas solares (separadas 6 m entre líneas) sobre la producción forrajera de una mezcla pratense de gramíneas y leguminosas y el rendimiento y consumo de agua de corderos destetados cebados en pastoreo. A pesar de la reducción de un 38 % de la oferta de forraje en las parcelas de placas solares, esta diferencia se compensó por una mayor calidad del forraje (mayor contenido de proteína bruta y menor contenido de carbohidratos estructurales), que permitió mantener la misma capacidad de carga ganadera entre parcelas. Además, el pastoreo en par-

celas con placas solares permitió reducir el consumo de agua de los corderos, ya que éstos pudieron mitigar mejor su estrés térmico.

Para mejorar la calidad de los pastos integrados en la tierra ocupada por paneles solares, se ha propuesto, además, la siembra de mezclas pratenses con especies melíferas (con flor) que favorezcan la presencia de los polinizadores y mejoren los servicios ecosistémicos de esas parcelas (Meyer *et al.*, 2023).

También se ha considerado que la coexistencia de pastoreo en terrenos con instalaciones de placas solares (sistema agrovoltaico) reduce ligeramente el impacto sobre el calentamiento global, ya que el pasto reemplaza parcialmente la necesidad de cultivos para la fabricación de piensos compuestos (como los cereales o la soja) y produce electricidad al mismo tiempo (Handler y Pearce, 2022). Más recientemente, se ha propuesto que los sistemas agrovoltaicos pueden permitir afrontar mejor las fluctuaciones inter-anales de cosecha en un contexto de cambio climático con más eventos extremos, al amortiguar mejor los efectos negativos de las heladas y las altas temperaturas sobre los cultivos y pastos, a la vez que reduciría su consumo de agua (Widmer *et al.*, 2024).

En el caso del bovino, Faria *et al.* (2023) evaluaron el uso de placas solares (3 m de altura mínima) como instalación de sombra para novillas (95 m² de pasto/m² de placa). Las novillas descansaron y rumiaron más tiempo debajo de las placas solares, especialmente en los períodos de mayor radiación, en los que además pudieron reducir su temperatura corporal y frecuencia respiratoria en comparación con las parcelas sin sombra. En ese trabajo, se estimó además la emisión de metano por parte de las novillas y se calculó que para compensar dicha emisión de gases mediante energía eléctrica renovable serían necesarios 4,1 m² de placas solares por animal, con una capacidad de cada módulo fotovoltaico de 335 vatios pico (Wp) y una eficiencia de 16,7 %.

Un último aspecto a considerar, en relación a la introducción del ganado en las instalaciones fotovoltaicas, es que las ganaderías cercanas a estas instalaciones tendrán acceso a zonas de pastos a las que antes no podían acceder, lo que conllevará una disminución de la compra de alimentos, principalmente forrajes, externos a la explotación, implicando esto una reducción del uso de energía no renovable y una disminución en las emisiones de gases efecto invernadero derivadas de la recolección, conservación y transporte hasta la explotación de estos alimentos, que ahora se estarían evitando (Mena et al., 2024).

Recomendaciones para la evaluación de los riesgos potenciales de exposición ambiental frente a estructuras asociadas a las energías renovables

En base a estos estudios previos, los autores insisten en que los impactos ambientales en las especies ganaderas no han sido evaluados con una visión integral. Aunque existe algu-

na información del efecto separado de diferentes tipos de factores perturbadores, hay incertidumbre sobre el efecto acumulativo (exposición multifactorial) a nivel individual del animal y de rebaño (EFSA, 2009). Es asimismo importante evaluar los efectos que también dependen del tamaño del proyecto y si existen o no otros proyectos colindantes, algo que parece no tenerse suficientemente en cuenta. Esta cuestión debería revisarse en España, sirva de ilustración la Figura 1 donde se pueden ver las ubicaciones de huertos solares y parques eólicos.

De alguna manera, la evaluación de riesgo debe contemplar de forma independiente la exposición al agente físico en cuestión (nivel de exposición y la parte atribuible de la exposición), la cronología de los trastornos, el diagnóstico diferencial y la documentación bibliográfica del vínculo entre el agente físico y el trastorno. Los autores han identificado en la Tabla 2 una propuesta de evaluación de impactos, medidas a realizar y umbrales de riesgos a partir de la bibliografía.

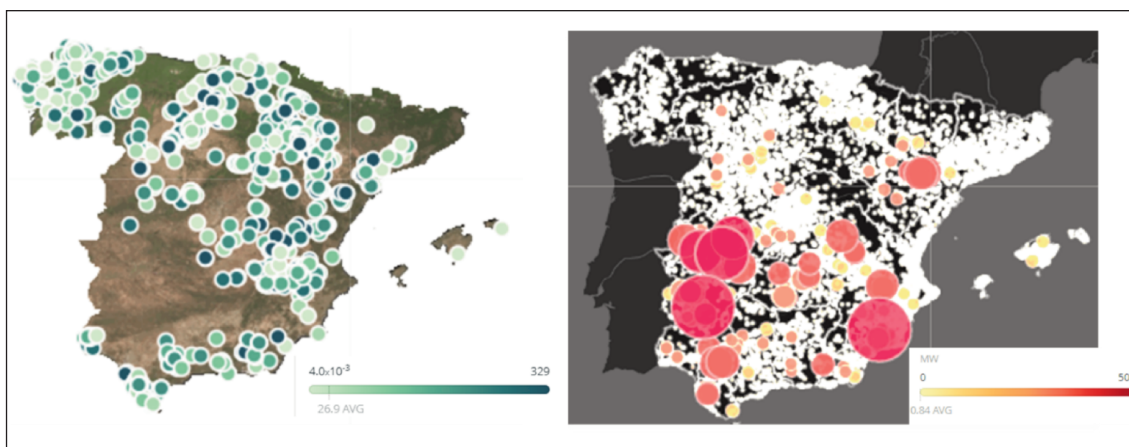


Figura 1. Instalaciones eólicas (izquierda) y fotovoltaicas (derecha) en España (avg = media de aerogeneradores o potencia eléctrica en MW) (Red Eléctrica de España, 2023).

Figure 1. Wind (left) and photovoltaic (right) facilities in Spain (avg = average number of wind turbines or electrical power in MW) (Red Eléctrica de España, 2023).

Tabla 2. Propuesta de evaluación de impactos, medidas a realizar y umbrales de riesgos a partir de la bibliografía.

Table 2. Proposal of impact assessment points, measures to be carried out and risk thresholds described.

Impacto	Sensores y medidas a realizar	Umbral del riesgo
Ruido/daño visual de las turbinas en operación	Medidas de sonido con sonómetro a 1 m de altura sobre el suelo. Distancia a la que se localizan de los animales respecto a los aerogeneradores/huertos solares.	Ruido <85 dB (decibelios) (Real Decreto 159/2023).
Electromagnetismo	Medidores de campo magnético a 1 m de altura, desde las turbinas/ placas solares (y de sus líneas eléctricas) hasta 200 m de distancia	Campo magnético <1 mG (miligauss) (McCallum et al., 2014).
Cambios de hábitat debajo de las turbinas/huertos solares	Análisis de circuitos de pastoreo del ganado. Ocupación del espacio. Reparto de actividades de comportamiento diario y estereotipias.	Reducción del pastoreo y del valor nutritivo de la vegetación debajo y alrededor de las instalaciones.

Los efectos sobre los mamíferos terrestres (ya sean silvestres o domésticos) rara vez se incluyen en las evaluaciones de impacto ambiental de los parques eólicos, lo que a su vez tiene el efecto de que se generan pocos conocimientos nuevos en los programas de monitorización o de estudio ambiental. A pesar de las investigaciones realizadas, no suele haber un seguimiento riguroso y documentado de las medidas correctoras y esta situación tan perjudicial sigue pesando sobre la población de animales presentes en las zonas donde se instalan las estructuras de generación de energías renovables.

En la evaluación del riesgo para el bienestar animal se debe considerar que pueden concurrir simultáneamente varios factores dentro de un mismo escenario de exposición y que, además, cada factor de riesgo podría afectar a uno o varios de los cuatro principios de bienestar (buena salud, buen alojamiento, buena alimentación y comportamiento ade-

cuado). Por medio de los efectos físicos más documentados que se presentan en esta revisión, se verán también comprometidos los Cinco Dominios para el bienestar animal propuestos por Mellor (2017): niveles de alimentación (Dominio 1) que minimizan el hambre y sed; que se le proporcione un ambiente adecuado (Dominio 2); que el animal esté libre de estrés físico (Dominio 3); que el animal sea capaz de mostrar la mayoría de sus patrones normales de conducta (Dominio 4); que el animal no experimente ni miedo ni distrés porque se garantizan las condiciones necesarias para evitar el sufrimiento mental (Dominio 5).

Las ganaderías disponen de mecanismos muy limitados para minimizar el impacto de los factores de riesgo de las infraestructuras de aerogeneradores. Cualquier estrategia de mitigación es inherente al propio parque eólico (modificar la ubicación y distancia de los parques eólicos a las ganaderías).

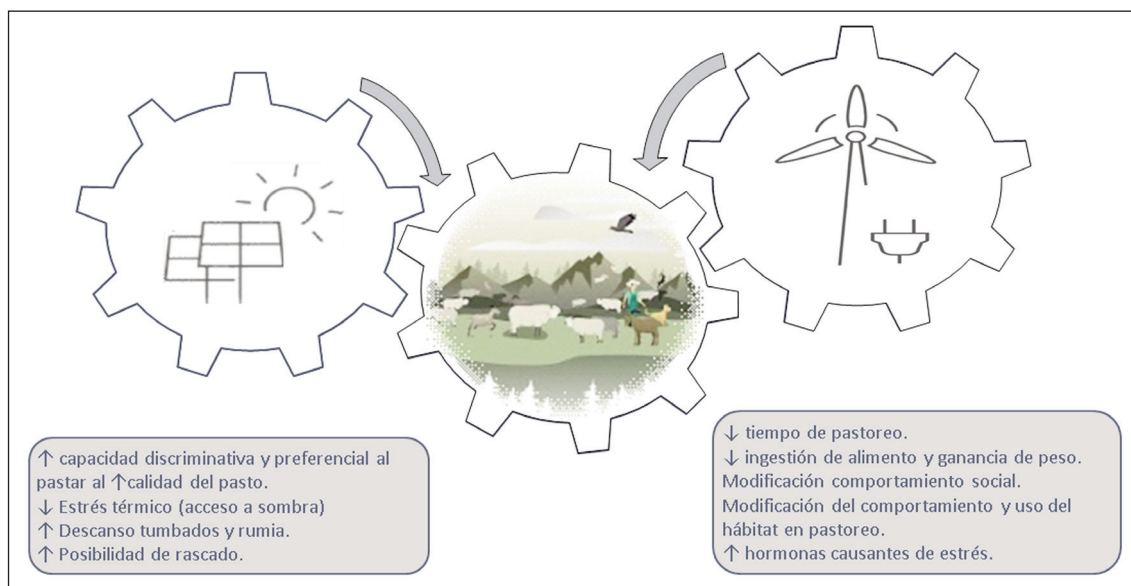


Figura 2. Impacto sobre la salud y bienestar animal de especies ganaderas en sistemas extensivos (medidos con indicadores basados en el animal y en el comportamiento ingestivo de animales que pastorean) a partir de instalaciones para la producción de energía renovable (aerogeneradores y paneles solares). Síntesis a partir de la bibliografía.

Figure 2. The impact of renewable energy installations (wind turbines and solar panels) on the health and welfare of livestock species in extensive systems (measured using indicators based on animal behaviour and grazing patterns). Synthesis from literature sources.

Entre las mayores implicaciones para avanzar en el estado del arte se especifica que la investigación que estudie los efectos de las energías renovables en el ganado requerirá proyectos integradores que tendrán que considerar los efectos multifactoriales de la exposición y si los efectos son sólo biológicos o si los eventos adversos para la salud pueden ser acumulativos y documentados de forma científica. Convendría enumerar los criterios que constituyen requisitos indispensables, velar por el cumplimiento de las buenas prácticas ganaderas, el cumplimiento de la normativa sanitaria, la eficacia del control previo de las explotaciones y los procedimientos de diagnóstico veterinario. Por ejemplo, se han comenzado a realizar peritajes de impacto de aerogeneradores en Francia (Agencia Nacional de Seguridad Sanitaria de la Alimenta-

ción) y EEUU (Reinemann, 2012) en los que se han referido a los aspectos zootécnicos, veterinarios y eléctricos, así como a medidas de infrasonidos, una evaluación del contexto geológico y un análisis de las aguas de perforación (conductividad subsuelo) para realizar una evaluación más integral. En estas primeras experiencias se recomienda establecer un protocolo de evaluación normalizado para poder hacer frente rápidamente a cualquier situación similar que se produzca en una explotación. Esto debería permitir investigar las causas de los trastornos de forma global y no selectiva, integrando no sólo los agentes físicos sino también los aspectos sanitarios y zootécnicos.

Para mitigar los efectos de dichas estructuras sobre la ganadería deberían elaborarse es-

trategias de mitigación en la planificación de los nuevos parques eólicos y solares. Se están desarrollando sistemas inteligentes en base a radares meteorológicos en los parques eólicos para disminuir las colisiones con las aves silvestres, con tecnología de inteligencia artificial, que detectan el individuo, la especie a la que pertenece y su posible trayectoria, con el fin de detener el aerogenerador si es necesario (Cohen *et al.*, 2022). Esta tecnología podría usarse también para reducir los impactos en el ganado de pastoreo libre.

Conclusiones

La bibliografía relacionada con el efecto de las estructuras físicas asociadas a las energías renovables y líneas eléctricas y su impacto en los animales domésticos es muy limitada. De acuerdo a los resultados de la revisión realizada y considerando RRA en el bienestar animal, existen múltiples agentes físicos y factores de riesgo y estrés involucrados y múltiples consecuencias para el animal.

Los agentes físicos asociados a estas estructuras pueden estar presentes durante un periodo determinado (exceptuando los ruidos repentinos) a diferentes niveles en periodos prolongados (como los parpadeos de sombras por el movimiento de las aspas) o ser factores presentes todo el tiempo (ruidos continuos, alteraciones campos magnéticos).

La investigación con enfoque multidisciplinar debe tener en cuenta tanto los agentes físicos como los aspectos sanitarios y zootécnicos. Las infraestructuras eólicas y solares podrían ejercer una perturbación de los animales domésticos manejados al aire libre.

En el caso de los aerogeneradores, las condiciones de la ubicación geográfica en la que se instalarán son determinantes en la severidad de los factores de riesgo que van a afectar a los animales. Las estrategias de mitigación deberían considerar la ubicación, magnitud y

distancia a las explotaciones ganaderas, pues los factores de riesgo son inherentes a la ubicación geográfica y estructura de estos elementos y por tanto son clave en la potencial severidad de los riesgos que afectan al bienestar animal.

La instalación de paneles solares debería considerar la posibilidad de integrar especies ganaderas que aprovechen al máximo la cobertura vegetal existente bajo las infraestructuras y, solo así, se podría mejorar el bienestar de los animales mediante un aporte de sombra que reduzca el estrés térmico e incremente la calidad del forraje y el tiempo de pastoreo.

Se recomienda mejorar el conocimiento de la sensibilidad del animal a nivel individual y de los posibles riesgos sobre la ganadería, sabiendo que pueden existir diferencias según el sistema de manejo. Asimismo se recomienda desarrollar protocolos para evaluar el bienestar animal utilizando métodos de análisis digitales (cámaras, dispositivos de seguimiento, y geoposicionamiento, entre otros), lo que permitirá una mayor precisión en las medidas y, por consiguiente, en la evaluación del efecto.

Referencias bibliográficas

- Agnew R.C.N., Smith V.J., Fowkes R.C. (2016). Wind turbines cause chronic stress in badgers (*Meles meles*) in Great Britain. *Journal of Wildlife Diseases* 52(3): 459-67. <https://doi.org/10.7589/2015-09-231>.
- Algers B., Jensen P. (1991). Teat stimulation and milk production during early lactation in sows: Effects of continuous noise. *Canadian Journal of Animal Science* 71: 51-60. <https://doi.org/10.4141/cjas91-006>.
- Andrew A.C., Higgins C.W., Smallman M.A., Graham M., Ates S. (2021). Herbage yield, lamb growth and foraging behavior in agrivoltaic production system. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5: 659175. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2021.659175>

- Appleman R.D., Gustafson R.J. (1985). Source of stray voltage and effect on cow health and performance. *Journal of Dairy Science* 68(6): 1554-1567. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80994-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80994-2).
- Arnold N.A., Ng K.T., Jongman E.C., Hemsworth P.H. (2007). The behavioural and physiological responses of dairy heifers to tape recorded milking facility noise with and without a pre-treatment adaptation phase. *Applied Animal Behaviour Science* 106: 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.07.004>.
- Barral M.Á., Ruíz Díez A., Prados M.-J., García-Marín R., Delicado A.(2023). Renewable energies and land use changes in the South of the Iberian Peninsula: a geographical interpretation of the national energy policies. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* (97): 1-46. <https://doi.org/10.21138/bage.3356>.
- Begall S., Cervený J., Neef J., Vojtech O., Burda H. (2008). Magnetic alignment in grazing and resting cattle and deer. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 13451-13455. <https://doi.org/10.1073/pnas.0803650105>.
- Broom D.M. (1986). Indicators of poor welfare. *British Veterinary Journal* 142: 524-526. [https://doi.org/10.1016/0007-1935\(86\)90109-0](https://doi.org/10.1016/0007-1935(86)90109-0).
- Brouček J. (2014). Effect of noise on performance, stress, and behavior of animals. *Slovak Journal of Animal Science* 47(2):111-123.
- Brown C.L., Hardy A.R., Barber J.R., Frstrup K.M., Crooks K.R., Angeloni L.M. (2012). The effect of human activities and their associated noise on ungulate behavior. *PLoS ONE* 7(7): e40505. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040505>.
- Burda H., Begall S., Cervený J., Neef J., Nemeč P. (2009). Extremely low-frequency electromagnetic fields disrupt magnetic alignment of ruminants. *The Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(14): 5708-5713. <https://doi.org/10.1073/pnas.0811194106>.
- Burn C.C. (2008). What is it like to be a rat? Rat sensory perception and its implications for experimental design and rat welfare. *Applied Animal Behaviour Science* 112: 1-32. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.02.007>.
- Cohen E.B., Buler J.J., Horton K.G., Loss S.R., Cabrera-Cruz S.A., Smolinsky J.A., Marra P.P. (2002). Using weather radar to help minimize wind energy impacts on nocturnally migrating birds. *Conservation Letters* 15: e12887. <https://doi.org/10.1111/conl.12887>.
- Colás Laguardia M.E. (2023). El principio de intervención mínima del derecho penal a través del estudio de los principales bienes jurídicos penalmente protegidos que pueden verse afectados por el impacto de los parques eólicos terrestres. En: *Vulnerabilidades y nuevas demandas sociales: un enfoque interdisciplinar desde las organizaciones* (Ed. Porto Pedrosa L., Sanagustín Fons M.V.), pp. 223-233. Dykinson, Madrid, España.
- D'Angelo G.J., Glasser A., Wendt M., Williams G.A., Osborn D.A., Gallagher G.R., Warren R.J., Miller K.V., Pardue M.T. (2008). Visual specialization of an herbivore prey species, the white tailed deer. *Canadian Journal of Zoology* 86: 735-743. <https://doi.org/10.1139/Z08-050>.
- ECDC (2019). Operational tool on rapid risk assessment methodology. *European Centre for Disease Prevention and Control* Estocolmo, Suecia. 18 pp.
- EFSA (2009). Fostering harmonised risk assessments approaches on animal health and welfare issues in the Member States. *EFSA Journal* 7(10): 1344. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1344>
- EFSA (2021). Welfare of sheep and goats at slaughter. *EFSA Journal* 19(11): e06882. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6882>.
- Elgar M.A. (1989). Predator vigilance and group size in mammals and birds: A critical review of the empirical evidence. *Biological Reviews* 64(1): 13-33. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1989.tb00636.x>
- Escribano-Avila G., Pettorelli N., Virgós E., Lara-Romero C., Lozano J., Barja J., Cuadra F.S., Puerta M. (2013). Testing Cort-Fitness and Cort-Adaptation hypotheses in a habitat suitability gradient for roe deer. *Acta Oecologica* 53: 38-48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2013.08.003>.
- Farboud A., Crunckhorn R., Trindade A. (2013). 'Wind turbine syndrome': fact or fiction?. *The Journal of Laryngology & Otology* 127: 222-226. <http://dx.doi.org/10.1017/S0022215112002964>.

- Faria A.F.P.A., Maia A.S.C., Moura G.A.B., Fonsêca V.F.C., Nascimento S.T., Milan H.F.M., Gebremedhin K.G. (2023). Use of solar panels for shade for Holstein heifers. *Animals* 13(3): 329. <https://doi.org/10.3390/ANI13030329>.
- Fonsêca V.F.C., Culhari E.A., Moura G.A.B., Nascimento S.T., Milan H.M., Neto M.C., Maia A.S.C. (2023). Shade of solar panels relieves heat load of sheep. *Applied Animal Behaviour Science* 265: 105998. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.105998>.
- Gygas L., Nosal D. (2006). Short communication: contribution of vibration and noise during milking to the somatic cell count of milk. *Journal of Dairy Science* 89: 2499-2502. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72324-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72324-4).
- Handler R., Pearce J.M. (2022). Greener sheep: Life cycle analysis of integrated sheep agrivoltaic systems. *Cleaner Energy Systems* 3: 100036. <https://doi.org/10.1016/J.CLES.2022.100036>.
- Harrison R.V. (2015). On the biological plausibility of Wind Turbine Syndrome. *International Journal of Environmental Health Research* 25(5): 463-468. <https://doi.org/10.1080/09603123.2014.963034>.
- Head H.H., Kull R.C.Jr., Campos M.S., Bachman k.C., Wilcox C.J., Cline L.L., Hayen M.J. (1993). Milk yield, milk composition, and behavior of Holstein cows in response to jet aircraft noise before milking. *Journal of Dairy Science* 76: 1558-1567. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77489-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77489-5).
- Heesy C.P. (2004). On the relationship between orbit orientation and binocular visual field overlap in mammals. *The Anatomical Record Part A: Discoveries in Molecular Cellular and Evolutionary Biology* 281(1):1104-10. <https://doi.org/10.1002/ar.a.20116>.
- Heffner H.E., Heffner R.S. (1993). Auditory perception. In: *Farm Animals and the Environment* (eds. Phillips C.J.C., Piggins D.), pp. 159-184. CABInternational, Wallingford, UK.
- Helldin J.O., Jung J., Neumann W., Olsson M., Skarin A., Widemo F. (2012). The impacts of wind power on terrestrial mammals. *Naturvårdsverket report no 6499 (en sueco)*. Swedish Environmental Protection Agency. 53 pp.
- Jakob-Hof R., Kingan M., Fenemore C., Schmid G., Cockrem J.F., Crackle A., Van Bommel E., Connor R., Descovich K. (2019). Potential impact of construction noise on selected zoo animals. *Animals* 9(8): 504. <https://doi.org/10.3390/ani9080504>.
- Kampherbeek E.W., Webb L.E., Reynolds B.J., Sista S.A., Horney M.R., Ripoll-Bosch R., Dubowsky J.P., McFarlane Z.D. (2023). A preliminary investigation of the effect of solar panels and rotation frequency on the grazing behavior of sheep (*Ovis aries*) grazing dormant pasture. *Applied Animal Behaviour Science* 258: 105799. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105799>.
- Karwowska M., Mikołajczak J., Dolatowski Z.J., Borowski S. (2015). The effect of varying distances from the wind turbine on meat quality of growing-finishing pigs. *Annals of Animal Science* 15(4): 1043-1054. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0051>.
- Lanier J.L., Grandin T., Green R.D., Avery D., McGee K. (2000). The relationship between reaction to sudden, intermittent movements and sounds and temperament. *Journal of Animal Science* 78: 1467-1474. <https://doi.org/10.2527/2000.7861467x>.
- Larsen M. (2002). Konsekvenser av vindkraft for rennaringen i Jamtlands lan- en pilotstudie [Consecuencias de la energía eólica para la cría de renos en el condado de Jamtlands: un estudio piloto]. (*en sueco*). Mitthögskolan. 56 pp.
- Lindkvist S., Ferneborg S., Ståhlberg K., Bänkestad D., Ekestén B., Agenäs S., Ternman E. (2023). Effect of light intensity, spectrum, and uniformity on the ability of dairy cows to navigate through an obstacle course. *Journal of Dairy Science* 106(11): 7698-7710. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23469>.
- Łopucki R., Klich D., Gielarek S. (2017). Do terrestrial animals avoid areas close to turbines in functioning wind farms in agricultural landscapes? *Environmental Monitoring and Assessment* 189: 343. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6018-z>.
- Maia A.S.C., Culhari E.A., Fonsêca V.F.C., Maia M.H.F., Gebremedhin K.G. (2020). Photovoltaic

- panels as shading resources for livestock. *Journal of Cleaner Production* 258: 120551. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120551>.
- Mamun M.A.A., Dargusch P., Wadley D., Zulkarnain N.A., Aziz A.A. (2022). A review of research on agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 161: 112351. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112351>.
- Martínez-Tossas L.A., Sakievich P., Churchfield M., Meneveau C. (2023). Generalized filtered lifting line theory for arbitrary chord lengths and application to wind turbine blades. *Authorea*. <https://doi.org/10.22541/au.167715703.38747382/v1>.
- McCallum L.C., Whitfield Aslund M.L., Knopper L.D., Ferguson G.M., Ollson C.A. (2014). Measuring electromagnetic fields (EMF) around wind turbines in Canada: is there a human health concern? *Environmental Health* 13: 9. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-9>.
- Mellor D.J. (2017). Operational Details of the Five Domains Model and its key applications to the assessment and management of animal welfare. *Animals* 7(8): 60. <https://doi.org/10.3390/ani7080060>.
- Mena Y., Morales-Jerrett E., Soler-Montiel M., Perez-Neira D., Mancilla-Leyton J.M. (2024). Energetic and monetary analysis of efficiency in family-owned dairy goat production systems in Andalusia (Southern Spain). *Animals* 14: 104. <https://doi.org/10.3390/ani14010104>.
- Meyer M.H., Dullau S., Scholz P., Meyer M.A., Tischew S. (2023). Bee-friendly native seed mixtures for the greening of solar parks. *Land* 12: 1265. <https://doi.org/10.3390/land12061265>.
- Molitorisová A., Burke C. (2022). Farm to fork strategy: Animal welfare, EU trade policy, and public participation. *Applied Economic Perspectives and Policy* 45(2): 881-910. <https://doi.org/10.1002/aepp.13326>.
- Moreno Grande A., Yllera Fernández M.M., Puerta Villegas J.L., Blanco-Penedo I., Lima Cerqueira J., Araújo J.P., Camiña García M., Cantalapiedra Álvarez J. (2016). Benestar Animal. Comportamento dos animais de produção domésticos e de companhia. Xunta de Galicia. Consellería do Medio Rural e do Mar. 124 pp.
- Morgan K.N., Tromborg C.T. (2007). Sources of stress in captivity. *Applied Animal Behaviour Science* 102: 262-302. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.05.032>.
- Mostegl N.M., Pröbstl-Haidera U., Haider W. (2017). Spatial energy planning in Germany: Between high ambitions and communal hesitations. *Landscape and Urban Planning* 167: 451-462. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.07.013>.
- Nordberg E.J., Caley M.J., Schwarzkopf L. (2021). Designing solar farms for synergistic commercial and conservation outcomes. *Solar Energy* 228(1): 586-593. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.09.090>.
- OECD (2012). Linking Renewable Energy to Rural Development. OECD Green Growth Studies, OECD Publishing, Paris, Francia. 352 pp. <https://doi.org/10.1787/9789264180444-en>
- OIE (2018). EU comments on the OIE Terrestrial and Aquatic Codes and Manuals. Ref. Ares 6394899.
- Olczak K., Penar W., Nowicki J., Magiera A., Kloczek C. (2023). The role of sound in livestock farming-selected aspects. *Animals* 13: 2307. <https://doi.org/10.3390/ani13142307>.
- Otten W., Kanitz E., Puppe B., Tuchscherer M., Brüßow K.P., Nürnberg G., Stabenow B. (2004). Acute and long term effects of chronic intermittent noise stress on hypothalamic-pituitary-adrenocortical and sympatho-adrenomedullary axis in pigs. *Animal Science* 78: 271-283. <https://doi.org/10.1017/S1357729800054060>.
- Palacios C., Plaza J., Abecia J.A. (2021). A high cattle-grazing density alters circadian rhythmicity of temperature, heart rate, and activity as measured by implantable bio-loggers. *Frontiers in Physiology* 1134. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.707222>.
- Pedersen E., van den Berg F., Bakker R., Bouma J. (2009). Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. *Journal of the Acoustical Society of America* 126(2): 634-643. <https://doi.org/10.1121/1.3160293>.
- Phillips C.J.C. (2009). Housing, handling and the environment for cattle. En: *Principles of Cattle*

- Production, 2ª edición (Ed. Phillips C.J.C.), pp. 95-128. CABI Digital Library. <https://doi.org/10.1079/9781845933975.0095>
- Plaza J., Palacios C., Abecia J.A., Nieto J., Sánchez-García M., Sánchez N. (2022). GPS monitoring reveals circadian rhythmicity in free-grazing sheep. *Applied Animal Behaviour Science* 251: 105643. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105643>.
- PNIEC (2020). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/ministerio/planes-estrategias/plan-nacional-integrado-energia-clima/plannacionalintegradodeenergiasclima2021-2030_tcm30-546623.pdf (consultado: 19 septiembre 2024).
- Pophof B., Henschenmacher B., Kattinig D.R., Kuhne J., Vian A., Ziegelberger G. (2023). Biological effects of electric, magnetic, and electromagnetic fields from 0 to 100 MHz on Fauna and flora: workshop report. *Health Physics* 124(1): 39-52. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001624>.
- Rabin L.A., McCowan B., Hooper S.L., Owings D.H. (2003). Anthropogenic noise and its effect on animal communication: an interface between comparative psychology and conservation biology. *International Journal of Comparative Psychology* 16: 172-192. <https://doi.org/10.46867/C4F59P>.
- Rabin L.A., Coss R.G., Owings D.H. (2006). The effects of wind turbines on antipredator behaviour in California ground squirrels (*Spermophilus beecheyi*). *Biological Conservation* 131: 410-420. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.02.016>.
- Real Decreto 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción. Boletín Oficial del Estado, núm. 250, de 19 de octubre de 2006, pp. 36317-36323. <https://www.boe.es/eli/es/l/2006/10/18/32>.
- Real Decreto 159/2023, de 7 de marzo, por el que se establecen disposiciones para la aplicación en España de la normativa de la Unión Europea sobre controles oficiales en materia de bienestar animal, y se modifican varios reales decretos. Boletín Oficial del Estado, núm. 57, de 8 de marzo de 2023. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2023/03/07/159/con>
- Red Eléctrica de España, (2023) Mapas de Interés. disponible en <https://www.esios.ree.es/es/mapas-de-interes/> (consultado: 10 septiembre de 2024).
- Reimers E., Tsegaye D., Colman J.E., Eftestøl S. (2014). Activity patterns in reindeer with domestic vs. wild ancestry. *Applied Animal Behaviour Science* 150: 74-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2013.10.010>.
- Reinemann D.J. (2012). Stray voltage and milk quality: a review. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 28(2): 321-345. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cvfa.2012.03.008>.
- Schöll E.M., Nopp-Mayr U. (2021). Impact of wind power plants on mammalian and avian wildlife species in shrub- and woodlands. *Biological Conservation* 256: 109037. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109037>.
- Schulze C., Peters M., Baumgärtner W., Wohlsein P. (2016). Electrical injuries in animals: causes, pathogenesis, and morphological findings. *Veterinary Pathology* 53(5): 1018-1029. <https://doi.org/10.1177/0300985816643371>.
- Shannon G., McKenna M.F., Angeloni L.M., Crooks K.R., Fristrup K.M., Brown E., Warner K.A., Nelson M.D., White C., Briggs J., McFarland S., Wittemyer G. (2016). A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. *Biological Reviews* 91: 982-1005. <https://doi.org/10.1111/brv.12207>.
- Shepherd D., McBride D., Welch D., Dirks K.N., Hill E.M. (2011). Evaluating the impact of wind turbine noise on health-related quality of life. *Noise Health* 13(54): 333-339. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.85502>.
- Silva L., Sareen S. (2021). Solar photovoltaic energy infrastructures, land use and sociocultural context in Portugal. *Local Environment* 26(3): 347-363. <https://doi.org/10.1080/13549839.2020.187091>.
- Skarin A., Sandström P., Alam M. (2018). Out of sight of wind turbines-Reindeer response to wind farms in operation. *Ecology and Evolution* 8(19): 9906-9919. <https://doi.org/10.1002/ece3.4476>.
- Skogland T. (1984). Wild reindeer foraging-niche organization. *Holarctic Ecology* 7: 345-379.

- Slaby P., Tomanova K., Vacha M. (2013). Cattle on pastures do align along the North-South axis, but the alignment depends on herd density. *Journal of Comparative Physiology A Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* 199(8):695-701. <https://doi.org/10.1007/s00359-013-0827-5>.
- Whiting T.L. (2016). Pain in human and non-human animals caused by electricity. *Canadian Veterinary Journal* 57(8): 883-886.
- Widmer J., Christ B., Grenz J., Norgrove L. (2024). Agrivoltaics, a promising new tool for electricity and food production: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 192: 114277. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2023.114277>.
- Zaplata M.K. (2023). Solar parks as livestock enclosures can become key to linking energy, biodiversity and society. *People and Nature* 5(5): 1457-1463. <https://doi.org/10.1002/PAN3.10522>.
- (Aceptado para publicación el 16 de septiembre de 2024)