

Directrices Internacionales de la CMS sobre contaminación lumínica para las especies migratorias

Introducción

La oscuridad natural tiene un valor de conservación equivalente al valor intrínseco que se atribuye a la tierra, al agua y al aire limpios. La luz artificial durante la noche está aumentando a nivel global en un 2 % al año (Kyba et al., 2017). A lo largo del período de 25 años comprendido entre 1992 y 2017, las emisiones de luz artificial aumentaron en al menos un 49 % (Sánchez de Miguel et al., 2021). Los animales perciben la luz de manera diferente a los humanos y la luz artificial puede alterar comportamientos esenciales y causar daños fisiológicos en la vida silvestre (Russart y Nelson, 2018; Sanders et al., 2021). Por ejemplo, las tortugas marinas recién eclosionadas pueden no encontrar el camino hacia el océano si las playas están iluminadas, y las crías de aves costeras pueden no realizar su primer vuelo si su hábitat de anidación nunca se oscurece (Witherington y Martin, 2003; Rodríguez et al., 2017c). Se ha sabido que los ualabíes de Tamar (*Macropus eugenii*) expuestos a luz artificial retrasan su reproducción y que los huevos de pez payaso (*h* (*Amphiprion ocellaris*)) incubados bajo luz constante no eclosionan (Robert et al., 2015; Fobert et al., 2019).

Como consecuencia, la luz artificial tiene el potencial de detener la recuperación de especies amenazadas. Para las especies migratorias, el impacto de la luz artificial puede poner en peligro la capacidad del animal de emprender migraciones de larga distancia que resultan fundamentales para su ciclo de vida.

La luz artificial durante la noche también ofrece seguridad humana, prestación de servicios y aumento de la productividad. La normativa y la legislación australianas regulan la luz artificial a efectos de seguridad humana. Estas Directrices no infringen las obligaciones sobre seguridad humana. En caso de existir objetivos contrapuestos con respecto a la iluminación, será necesario encontrar soluciones creativas que respeten los requisitos de seguridad humana para la luz artificial y la conservación de las especies migratorias y amenazadas.

Las Directrices describen el proceso que debería seguirse siempre que exista la posibilidad de que la iluminación artificial afecte a la vida silvestre. Estas se aplican a nuevos proyectos, a mejoras en la iluminación y si existen pruebas de que la luz artificial existente afecta a la vida silvestre.

La tecnología relacionada con el hardware de iluminación, el diseño y el control está cambiando rápidamente y las respuestas biológicas a la luz artificial varían entre especies, ubicación y condiciones ambientales. Estas directrices no establecen límites preceptivos a la iluminación, sino que recomiendan las mejores prácticas para el diseño de iluminación y, en general, adquieren un planteamiento basado en resultados para evaluar y mitigar los efectos de la luz artificial en la vida silvestre.



Figura 1. Pez payaso rosa y tortuga marina durante la puesta de huevos. Fotografías: Nigel Marsh y Robert Thorn.

Elaboración de estas Directrices

Estas directrices constituyen una adaptación a un contexto internacional de las «Directrices sobre contaminación lumínica para la vida silvestre, incluidas las tortugas marinas, las aves marinas y las aves costeras migratorias» elaboradas por el Gobierno de Australia en 2020. Estas Directrices fueron respaldadas por la Conferencia de las Partes de la CMS en su 13ª reunión (COP13, Gandhinagar, febrero de 2020) a través de la Resolución 13.5 Directrices sobre Contaminación Lumínica para la Vida Silvestre para ayudar a las Partes de la CMS en la evaluación y gestión del impacto de la luz artificial sobre la susceptible vida silvestre en su jurisdicción.

Por medio de la Decisión 13.138 Directrices sobre Contaminación Lumínica para la Vida Silvestre, la COP13 de la CMS también solicitó a la Secretaría de la CMS que preparase directrices adicionales para su adopción por parte de la COP14 sobre cómo evitar y mitigar los efectos negativos directos e indirectos de la contaminación lumínica para taxones aún no cubiertos por las Directrices elaboradas por el Gobierno de Australia. En aplicación de dicha Decisión, la Secretaría de la CMS, en consulta con el Consejo Científico de la CMS, elaboró directrices adicionales relativas al efecto de la contaminación lumínica sobre las aves terrestres migratorias y los murciélagos para su consideración por parte de la COP14.

En el proceso de integrar las directrices recién elaboradas con aquellas ya respaldadas por la COP13, en acuerdo con el Gobierno de Australia, se decidió además llevar a cabo una revisión de las directrices existentes para adaptarlas mejor al contexto internacional que ofrece la CMS, al tiempo que se limita la revisión técnica a un mínimo. Si bien muchos de los ejemplos y estudios de casos ofrecidos son relativos a especies y situaciones específicas de Australia, deberían hacer referencia a situaciones comparables de cualquier otro lugar. Las presentes Directrices son el resultado de este ejercicio de integración y adaptación.

Cómo usar estas Directrices

Estas Directrices ofrecen a los usuarios la información práctica, técnica y teórica necesaria para evaluar si la iluminación artificial tiene posibilidad de afectar a la vida silvestre y herramientas de gestión para mitigar y minimizar el efecto. Estas técnicas pueden aplicarse con independencia de la magnitud, desde pequeños proyectos domésticos a desarrollos industriales a gran escala.

El objetivo de estas Directrices es que la luz artificial se gestione de manera que la vida silvestre:

- 1. No resulte alterada ni desplazada de su hábitat importante**
- 2. Sea capaz de seguir comportamientos esenciales como la búsqueda de alimentos, la reproducción, migración y la dispersión.**

Las Directrices recomiendan:

1. Usar siempre el [diseño de iluminación recomendado](#) para reducir la contaminación lumínica y minimizar el efecto en la vida silvestre.
2. Realizar una [evaluación del impacto ambiental en relación con los efectos de la luz artificial en las especies](#), como se ha demostrado, su comportamiento, supervivencia o reproducción se ven afectados por la luz artificial.

Apéndices técnicos

Las Directrices cuentan con el respaldo de una serie de apéndices técnicos que aportan información adicional: [Diseño de iluminación recomendado](#), [¿Qué es la luz y cómo la percibe la vida silvestre?](#), [Medición de la luz relevante a nivel biológico](#) e [Inspección de la luz artificial](#). Asimismo, se incluyen una [lista de verificación](#) para la gestión de la luz artificial e información de especies concretas para la gestión de la luz artificial para las [tortugas marinas](#), las [aves marinas](#), las [aves costeras migratorias, aves terrestres y murciélago](#). El rango de especies abordadas en los apéndices basados en taxones se irá ampliando en un futuro.

Consideraciones reglamentarias para la gestión de la luz artificial en torno a la vida silvestre

Estas Directrices deberían seguirse para garantizar que todos los objetivos de iluminación se gestionen de manera adecuada. Esto puede suponer el desarrollo, la aplicación y la verificación de soluciones con el fin de garantizar que la gestión de iluminación cubra las necesidades de seguridad humana y conservación de la vida silvestre. La aplicación de las Directrices debería considerarse en el contexto de cualquier marco normativo pertinente (p. ej., Commission International de l'Eclairage, CIE) y el marco reglamentario específico de cada contexto nacional, regional o local. Los [estudios de casos](#) ilustran ejemplos de cómo una planta de procesamiento de gas natural licuado, un organismo de transporte, una embarcación de investigación marina y una ciudad cosmopolita han abordado este reto.

Orientación asociada

Estas Directrices de Contaminación Lumínica deberían leerse junto con los siguientes documentos:

- legislación nacional pertinente
- asesoramiento pertinente en materia de conservación para especies migratorias y otra vida silvestre.
- otra legislación medioambiental pertinente, reglamentos y documentos normativos y de orientación
- CIE 150: 2017 Guía para la Limitación de los Efectos Molestos Procedentes de las Instalaciones de Iluminación Exteriores, 2a edición
- ordenanza Modelo de Iluminación (MLO) conjunta IDA-IES con Guía del usuario
- IDA Cinco principios para una iluminación exterior responsable
- el documento «Recomendaciones para mantener el cielo oscuro y tranquilo para la ciencia y la sociedad», elaborado por la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, con especial atención a la sección D, «Protección del bio-medioambiente» que ofrece 13 recomendaciones para mitigar los efectos de la luz artificial por la noche sobre los humanos, la flora y la fauna
- Informes del Grupo de Trabajo Cielos Oscuros y Silenciosos II para la Ciencia y la Sociedad
- Manifiesto ROLAN (Iluminación nocturna responsable) para profesionales de la iluminación
- la «Declaración sobre la Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a la Luz de las Estrellas»
- Documentación científica actualizada
- Conocimiento indígena y local

Luz artificial y vida silvestre

La visión es una indicación crucial para que los animales silvestres se orienten en su propio entorno, busquen comida, eviten a sus depredadores y se comuniquen (Rich y Longcore, 2006). La vida silvestre también usa el cambio rítmico de la luz natural de manera no visual, especialmente para la cronometría biológica (Foster y Kreitzman, 2005; Kreitzman y Foster, 2010). Una consideración importante en la gestión de la luz artificial para la vida silvestre es la comprensión de cómo los animales perciben la luz, en términos de qué ve el ojo y la perspectiva de visión del animal.

Los animales perciben la luz de manera diferente a los humanos. La mayoría de los animales son sensibles a la luz ultravioleta (UV)/violeta/azul⁸ mientras que algunas aves son sensibles al amarillo/naranja de mayor longitud de onda y algunas serpientes, por ejemplo, pueden detectar longitudes de onda infrarrojas⁹ (Figura 2) (Newman y Hartline 1981; Reed, 1986; Campos, 2017). . Comprender la sensibilidad de la vida silvestre a las diferentes longitudes de onda de luz es esencial para evaluar los posibles efectos de la luz artificial en la vida silvestre.

La manera en la que se describe y se mide la luz se ha centrado tradicionalmente en la visión humana. Si se quiere gestionar la luz de manera adecuada para la vida silvestre, es fundamental comprender cómo se define, se describe y se mide la luz con el fin de considerarla desde la perspectiva de los animales afectados.

Para obtener una explicación detallada de estas cuestiones, consulte [¿Qué es la luz y cómo la percibe la vida silvestre?](#) El [Glosario](#) ofrece un resumen de los términos usados para describir la

luz y las mediciones de luz, e incluye los términos adecuados para hablar sobre los efectos de la luz en la vida silvestre.

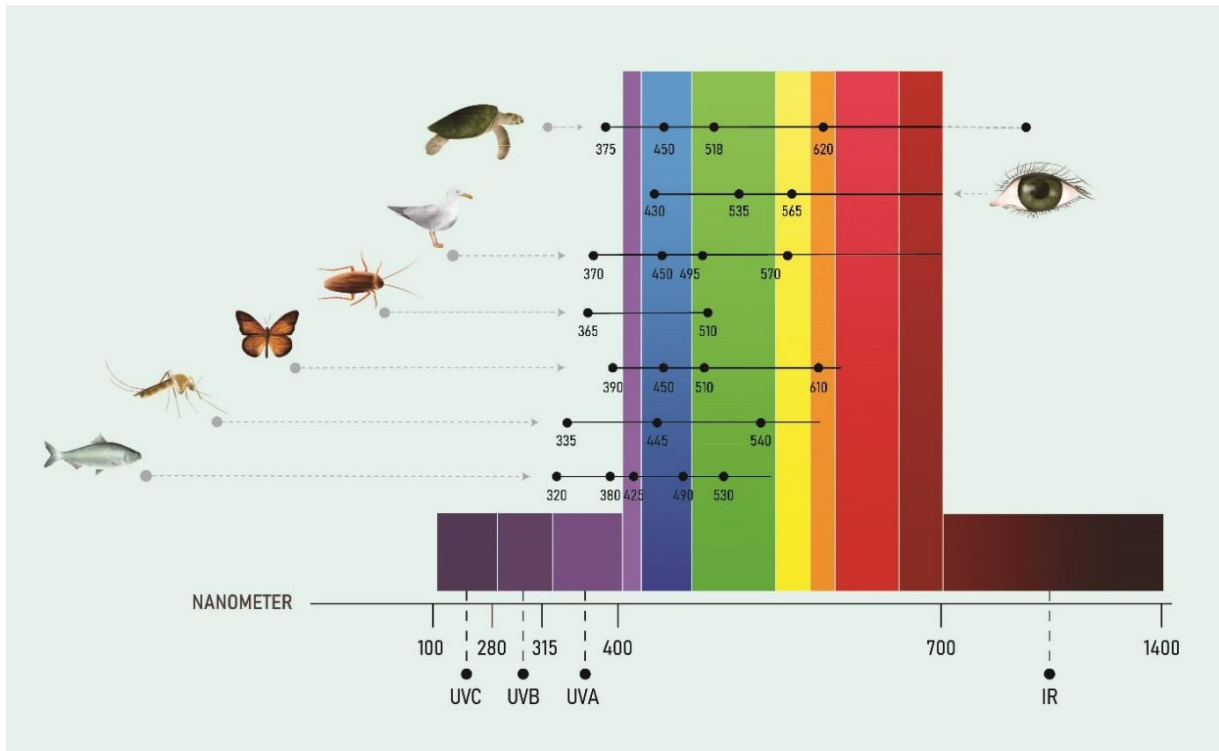


Figura 2. La habilidad de percibir diferentes longitudes de onda de luz en humanos y en animales silvestres se muestra en la línea horizontal. Los puntos negros muestran los puntos máximos de sensibilidad. Los puntos negros de los murciélagos representan los picos de sensibilidad de un murciélago omnívoro según Winter et al. (2003); los puntos grises representan los picos de sensibilidad potenciales de los murciélagos, derivados de Feller et al. (2009) y Simões et al. (2018), figura adaptada de Campos (2017).

Cómo afecta la luz a la vida silvestre

Se sabe que la luz artificial afecta negativamente a muchas especies y comunidades ecológicas (Bennie et al., 2016; Gaston et al., 2018; Russart y Nelson, 2018; Sanders y Gaston, 2018). Puede modificar el comportamiento o la fisiología, lo que reduce la producción reproductiva y la supervivencia. Asimismo, puede tener el efecto indirecto de modificar la disponibilidad de los recursos alimentarios y del hábitat. Puede atraer a depredadores y plagas invasoras, los cuales pueden suponer una amenaza para las especies cuya conservación es motivo de preocupación.

Se han descrito exhaustivamente cambios conductuales en la vida silvestre para algunas especies. Las tortugas marinas adultas podrían evitar anidar en playas iluminadas de manera brillante, y las tortugas adultas y las crías pueden desorientarse y no ser capaces de encontrar el océano en presencia de luz directa o resplandor en el cielo (Witherington, 1992; Witherington y Martin 2003; Thums et al., 2016; Price et al., 2018). Asimismo, las luces pueden desorientar a las aves que están volando, particularmente durante la migración, y hacer que se desvíen de las rutas migratorias eficientes o que choquen contra infraestructuras (Cabrera-Cruz et al., 2018). Las aves pueden morir de hambre si la iluminación artificial altera la búsqueda de comida y las crías de aves marinas pueden llegar a no realizar nunca su primer vuelo si sus hábitats de anidación nunca oscurecen (Rodríguez et al., 2017c). Las aves costeras migratorias pueden utilizar zonas de pernoctación menos preferibles para evitar las luces y quedar así expuestas a una actividad predatoria mayor dado que la iluminación hace que resulten más visibles por la noche (Rodríguez et al., 2017c).

Se ha demostrado que la hormona del estrés, la corticosterona, aumenta en los pájaros cantores que viven en libertad cuando se exponen a la luz blanca en comparación con la luz verde o roja, y que los que tienen niveles elevados de la hormona del estrés tienen menos descendencia (Ouyang et al., 2015). La fisiología de las plantas también puede verse afectada por la luz artificial con cambios en el crecimiento, la época de floración y la distribución de recursos (Bennie et al., 2016). Esto, a su vez, puede tener efectos derivados para los polinizadores y los herbívoros.

Los efectos indirectos de la luz artificial también pueden ser perjudiciales para especies amenazadas. La zarigüeya pigmea de montaña (*Burramys parvus*), por ejemplo, se alimenta principalmente de la polilla Bogong (*Agrotis infusa*), una especie nocturna que migra grandes distancias y a la que atrae la luz (Warrant et al., 2016). Los recientes descensos en las poblaciones de polillas, en parte debido a la luz artificial, han reducido el suministro de alimentos para esta zarigüeya (Commonwealth de Australia, 2016). Los cambios en la disponibilidad de alimento debido a la luz artificial afectan a otros animales, como los murciélagos (Haddock et al., 2019), y pueden provocar cambios en las comunidades de peces (Bolton et al., 2017). La luz también puede atraer a plagas invasoras, como el sapo gigante (*Rhinella marina*), o a otros depredadores, lo cual aumenta la presión sobre las especies cuya conservación es motivo de preocupación (González-Bernal et al., 2014; Wilson et al., 2019).

El modo en que la luz afecta a una especie debe tenerse en cuenta a la hora de desarrollar estrategias de gestión, ya que esto variará en cada caso

Estas Directrices ofrecen información sobre la gestión de la luz artificial para las [tortugas marinas](#), las [aves marinas](#) y las [aves costeras migratorias](#) [aves terrestres migratorias](#) y [murciélagos](#) en los apéndices técnicos. Debería prestarse atención al efecto directo e indirecto de la luz artificial en todas las especies cuyo comportamiento, supervivencia y reproducción, como se ha demostrado, se ven afectados negativamente por este tipo de luz. Si hay presente vida silvestre para la que no haya efectos negativos demostrados, podría aplicarse aun así un enfoque preventivo, puesto que los patrones reportados podrían constituir ejemplos de un problema más extendido (Davies y Smyth, 2017).

Diodos de emisión de luz (LED)

Durante la vigencia de estas Directrices, se prevé que la tecnología de iluminación pueda cambiar drásticamente. En el momento de su redacción, los LED se están convirtiendo rápidamente en el tipo de luz de uso más común a nivel global. Esto se debe principalmente a que son más eficientes energéticamente que las fuentes de iluminación anteriores. Las tecnologías de control inteligente y los LED (tales como sensores de movimiento y temporizadores) ofrecen la capacidad de controlar y gestionar parámetros físicos de la luz, lo que los convierten en una herramienta integral en la gestión de los efectos de la luz artificial en la vida silvestre.

Aunque los LED son parte de la solución, se deberían tener en cuenta algunas características de estos diodos que pueden influir en el efecto de la luz artificial sobre la vida silvestre. Los LED blancos generalmente contienen luz azul de longitud de onda corta. La luz de longitud de onda corta se dispersa más fácilmente que la de longitud de onda larga, lo que contribuye más al brillo del cielo. También la mayoría de la vida silvestre es sensible a la luz azul (Figura 2). El apéndice técnico [¿Qué es la luz y cómo la percibe la vida silvestre?](#) contiene consideraciones más detalladas sobre los LED, sus beneficios y los desafíos relativos a su uso en torno a la vida silvestre.

¿Cuándo considerar el impacto de la luz artificial en la vida silvestre?

¿La luz artificial es visible desde el exterior?

Toda acción o actividad que incluya la iluminación artificial visible desde el exterior debería considerar los efectos potenciales sobre la vida silvestre (consulte la Figura 3 que aparece a continuación). Estas Directrices deberían aplicarse a todas las etapas de gestión, desde el desarrollo de los esquemas de planificación hasta el diseño, la aprobación y la ejecución de actividades o desarrollos individuales, mediante la rehabilitación de los accesorios de iluminación y la gestión de la contaminación lumínica existente. Se aconseja tomar el [diseño de iluminación recomendado](#) como criterio mínimo siempre que la iluminación artificial sea visible desde el exterior.

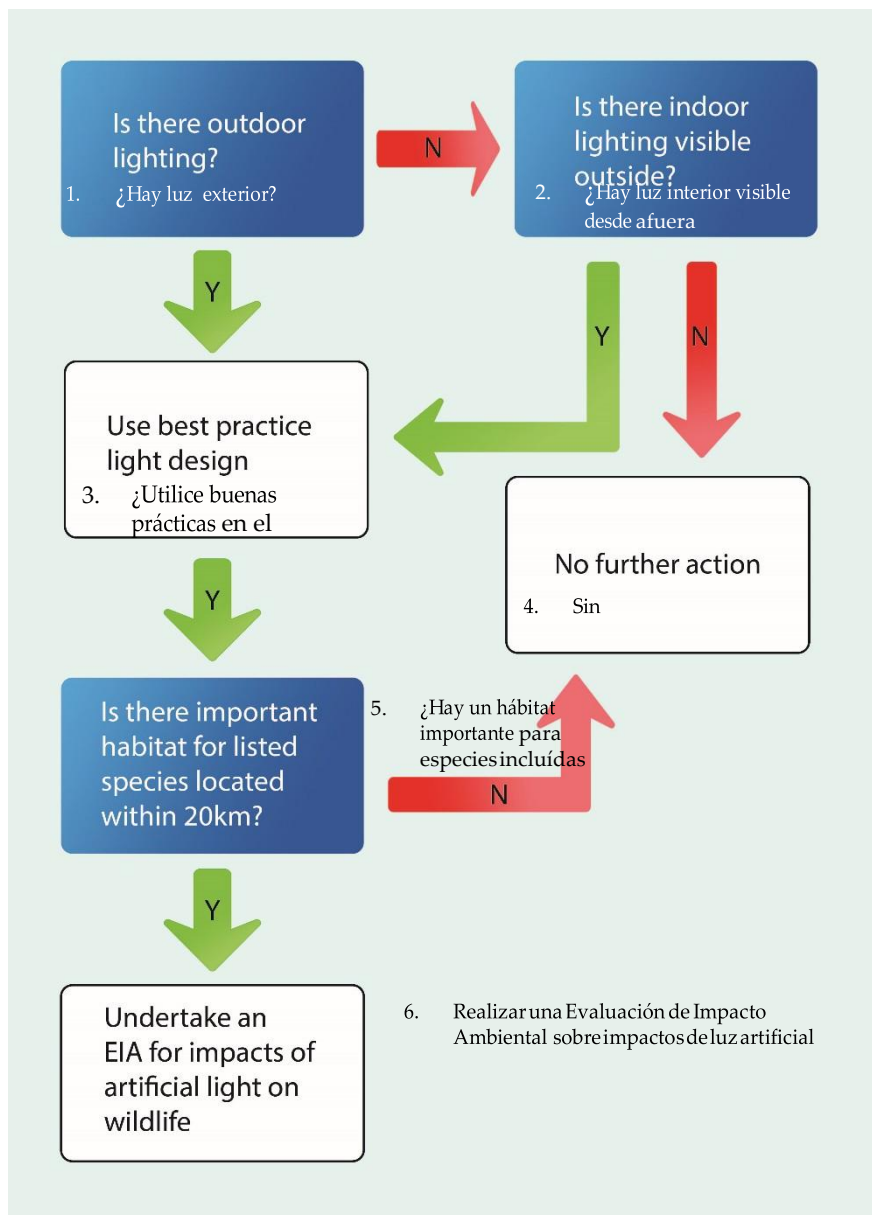


Figura 3. Árbol de decisiones para determinar si se debe realizar una evaluación del impacto ambiental causado por la luz artificial en la vida silvestre © Pendoley Environmental.

Diseño de iluminación recomendado

La oscuridad natural tiene valor de conservación y debería protegerse mediante una gestión y un diseño de iluminación de buena calidad para el beneficio de todos los seres vivos. Con este fin, toda infraestructura que tenga iluminación artificial exterior o iluminación interna que pueda verse desde el exterior debería incorporar el diseño de iluminación recomendado.

La incorporación de las mejores prácticas de diseño de iluminación en todas las infraestructuras no sólo tendrá beneficios para la fauna, sino que también ahorrará energía y supondrá un beneficio económico para los propietarios y gestores de las luces.

El diseño de iluminación recomendado incorpora los siguientes principios de diseño.

- 1. Comience con oscuridad natural y solo añada luz para fines específicos.**
- 2. Use controles de luz adaptativos para gestionar el tiempo de iluminación, la intensidad y el color.**
- 3. Ilumine únicamente la zona o el objeto previstos; mantenga las luces cerca del suelo, dirigidas y protegidas para evitar la difusión de luz.**
- 4. Use la iluminación con el nivel de intensidad mínimo adecuado para la tarea.**
- 5. Use superficies oscuras y no reflectantes.**

Usar luces sin longitudes de onda azules, violetas y ultravioletas si es posible. En caso contrario, usar luces con longitudes de onda reducidas o filtradas azules, violetas y ultravioletas.

- 6. Use luces con longitudes de onda ultravioleta, violeta y azul filtradas o reducidas.**

Figura 4 ofrece una ilustración de los principios del diseño de iluminación recomendado. Para una explicación detallada, consulte el apéndice técnico [Diseño de iluminación recomendado](#).

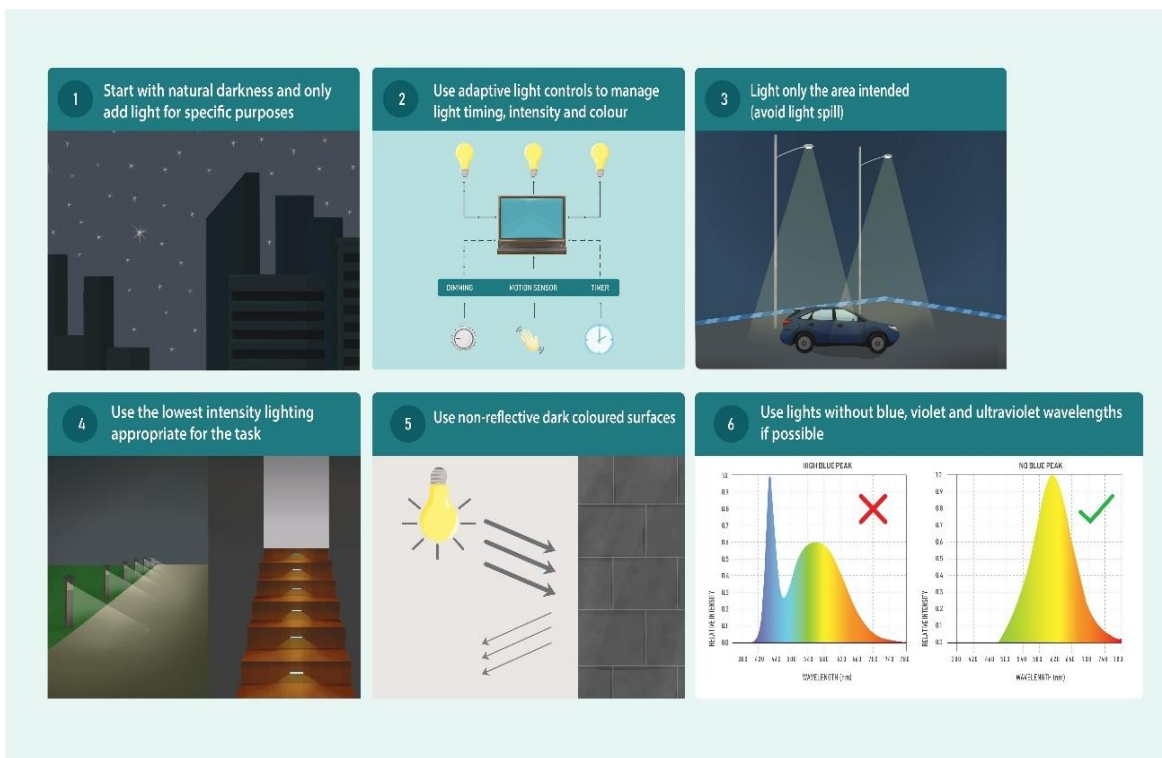


Figura 4. Principios para el diseño de iluminación recomendado. © Pendoley Environmental.***¿Existen hábitats importantes para vida silvestre en un radio de 20 km?***

Los hábitats importantes son aquellas zonas necesarias para que una proporción significativa a nivel ecológico de una especie realice actividades fundamentales como la búsqueda de comida, la cría, la pernoctación o la dispersión. Esto puede incluir zonas que son de vital importancia para una etapa de vida concreta, zonas que se encuentran en el límite de un rango de especies o hábitat, o zonas en las que la especie está reduciéndose. También pueden incluir un hábitat en el que la presencia de la contaminación lumínica pueda causar un descenso significativo de una especie migratoria protegida o amenazada listada. El hábitat importante variará dependiendo de las especies, se deber dar una consideración especial a las características ecológicas y valores de los lugares conservados en el marco de planes internacionales tales como las Convenciones de [Ramsar](#) y de [Patrimonio de la Humanidad](#), [International Dark-sky Association Dark Sky Places](#) y planes nacionales y regionales, tales como las áreas protegidas en el marco de la [Directiva Hábitats](#) de la Unión Europea.

En los apéndices técnicos se pueden encontrar descripciones específicas para cada especie de hábitat importante relacionadas con las [tortugas marinas](#), las [aves marinas](#) y las [aves costeras migratorias](#), [aves terrestres migratorias](#) y [murciélagos](#). Para otras especies, consulte la información pertinente disponible en los apartados [Orientación asociada](#) y [Estudio documental sobre la vida silvestre](#).

Donde exista hábitat importante para especies que se vean afectadas por la luz artificial dentro de un radio de 20 km de un proyecto, se deberían considerar los impactos específicos sobre las especies mediante un proceso de [evaluación del impacto ambiental](#) (EIA).

El umbral de 20 km ofrece un límite cautelar que se basa en los efectos observados del resplandor en el cielo en las eclosiones de tortugas marinas que suceden a una distancia de 15 a 18 km (Hodge et al., 2007; Kamrowski et al., 2014) y la permanencia en el suelo de crías de aves costeras en respuesta a la luz artificial a una distancia de 15 km (Rodríguez et al., 2014). El efecto del resplandor lumínico puede producirse en distancias superiores a 20 km para algunas especies y bajo determinadas condiciones ambientales. El umbral de 20 km ofrece una distancia nominal en la se deberían considerar los impactos de la luz artificial, no necesariamente la distancia a la que se deba aplicar la mitigación. Por ejemplo, si hay una cordillera entre la fuente de luz y una playa importante de anidación de tortugas, es poco probable que se necesite mitigar aún más la luz. No obstante, en el caso de que una infraestructura isleña se pueda ver directamente desde una playa importante de anidación de tortugas a lo largo de 25 km de océano en una ubicación remota, puede ser necesaria una mitigación adicional.

Gestión de la contaminación lumínica existente

El impacto de la luz artificial sobre la vida silvestre a menudo será el resultado del efecto de todas las fuentes de luz combinadas de una región. A medida que el número y la intensidad de las luces artificiales de una zona crecen, habrá un aumento acumulativo y visible del resplandor en el cielo. Este resplandor celeste es la luminosidad del cielo nocturno causada por la luz reflejada que se dispersa por partículas en la atmósfera. El resplandor en el cielo incluye el brillo artificial y natural del cielo. Conforme el resplandor en el cielo aumenta, crecen los posibles impactos adversos en la vida silvestre.

Por lo general, no existe una única fuente de resplandor en el cielo, y su gestión debería abordarse desde un enfoque colaborativo y regional. El sector industrial, los consejos, los organismos reguladores y la comunidad deberán encargarse de abordar la mitigación y la minimización de la luz artificial con el fin de prevenir y, cuando sea necesario, reducir el aumento de los efectos de la luz artificial sobre la vida silvestre. La contaminación lumínica suele abordarse a nivel de los accesorios, pero también debería gestionarse a nivel regional, de forma que se establezcan unas políticas y una planificación en materia de iluminación que garanticen la protección de las áreas oscuras (ver las recomendaciones de la parte 2. Grupo de trabajo de luz artificial por la noche en la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre, 2021).

De la misma manera que el resplandor del cielo, las fuentes locales de luz directa también pueden afectar a la vida silvestre, p. ej., algunos insectos y aves presentan fototaxia positiva y se sienten atraídos por la luz artificial, mientras que otros presentan fototaxia negativa y evitan la luz artificial por la noche (Van Doren et al., 2017; Owens et al., 2020).

El efecto de la luz artificial existente sobre la vida silvestre podría ser identificado por parte de investigadores o administradores de especies protegidas que observan cambios en los parámetros demográficos de población o en el comportamiento que pueden atribuirse al resplandor artificial aumentado en el cielo y/o luz directa. Cuando esto ocurra, se debería vigilar y documentar el cambio en la población o el comportamiento y, cuando sea posible, se deberían identificar las fuentes de luz. Se debería desarrollar un [plan de gestión de iluminación artificial](#) en colaboración con todos los propietarios y administradores de luz con el fin de mitigar los impactos.

Evaluación del impacto ambiental para los efectos de la luz artificial en la vida silvestre

Existen cinco pasos para la evaluación de los efectos potenciales de la luz artificial en la vida silvestre, y la gestión adaptativa de la luz artificial requiere un proceso de mejora continua (Figura 5). La cantidad de detalle que se incluye en cada paso depende de la magnitud de la actividad propuesta y de la susceptibilidad de la vida silvestre a la luz artificial. Los tres primeros pasos del proceso de EIA deberían emprenderse lo antes posible en el ciclo de vida del proyecto y la información resultante debería servir de información para la fase de diseño del proyecto.

Los apéndices técnicos [Tortugas marinas](#), [Aves marinas](#) y [Aves costeras migratorias](#), [aves terrestres migratorias](#) y [murciélagos](#), aportan consideraciones específicas para cada uno de estos taxones. No obstante, el proceso debería adoptarse para otras especies cuya conservación es motivo de preocupación que se vean afectadas por la luz artificial.

Personal cualificado

Personal debidamente cualificado debería ser responsable del diseño y la gestión de iluminación y del proceso de EIA. Profesionales en iluminación adecuadamente cualificados, en colaboración con ecologistas y biólogos de vida silvestre debidamente cualificados, deberían estar a cargo del desarrollo y la revisión de los planes de gestión.

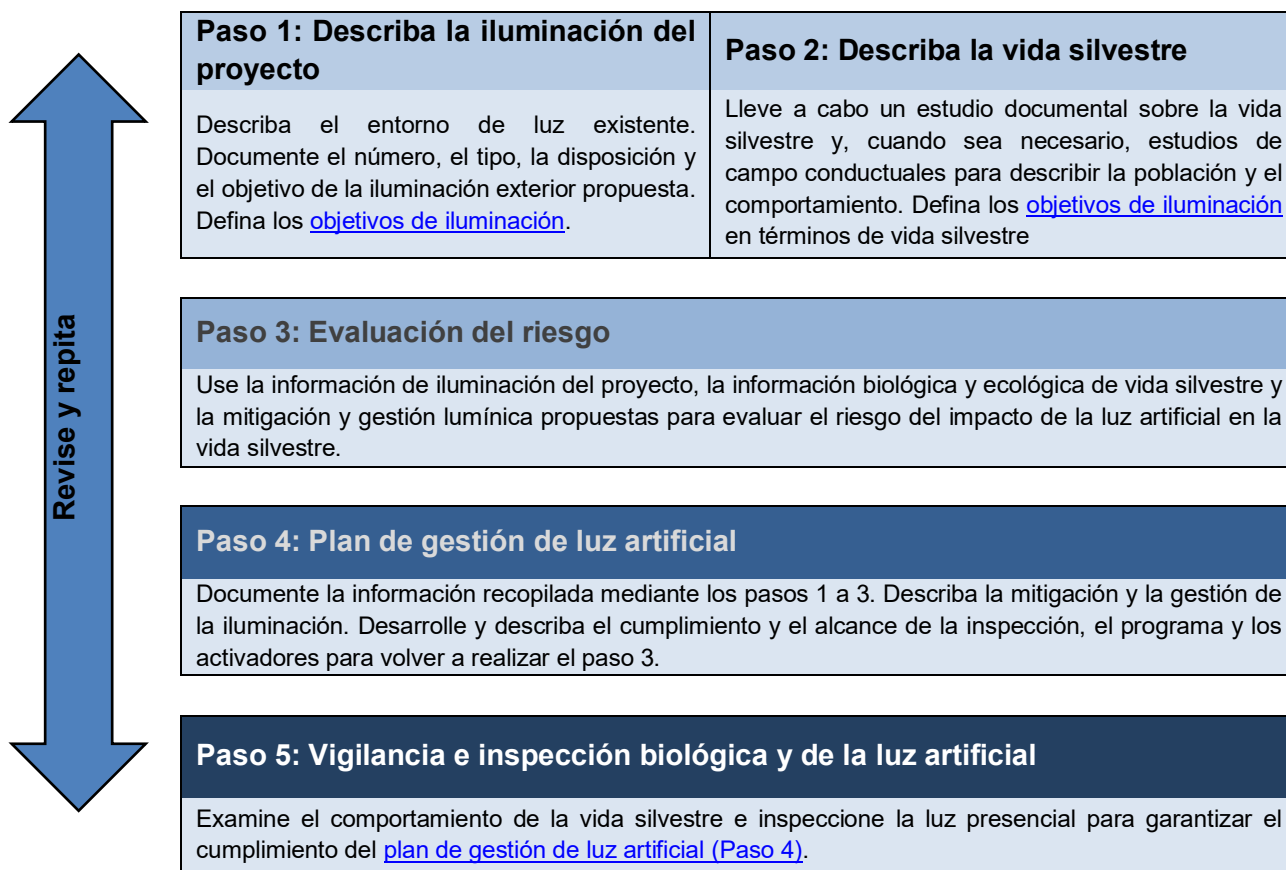


Figura 5. Diagrama que describe el proceso de evaluación de impacto ambiental.

Paso 1: Describa la iluminación del proyecto

Describa el entorno de luz existente y caracterice la luz que probablemente se emita desde el sitio. La información debería ser recopilada, incluida (pero sin limitarse a) la siguiente: la ubicación y el tamaño del impacto del proyecto; la cantidad y el tipo de luces; su orientación de la altura y las horas de funcionamiento; la topografía y la proximidad del sitio a la vida silvestre o al hábitat de vida silvestre. Esta información debería incluir si la iluminación será visible directamente para la vida silvestre o contribuirá a provocar resplandor en el cielo; la distancia a la que es probable que se perciba esta luz artificial; los controles de iluminación y protección que se usan para minimizar la luz; y las características espectrales (longitud de onda) y la intensidad de las luces.

La iluminación específica de un proyecto debería considerarse en el contexto de un entorno de luz existente y del potencial de efectos acumulativos de múltiples fuentes de luz. La información recopilada debería ser suficiente como para evaluar los efectos probables de la luz artificial sobre la vida silvestre, habida cuenta de la biología y ecología de las especies presentes (paso 2).

Cuando exista la necesidad de controlar la eficacia de la mitigación de la luz artificial y de las estrategias de gestión (paso 5), se deberá llevar a cabo un seguimiento de referencia. Las mediciones del entorno de luz existente deberían reconocer y tener en cuenta las longitudes de onda cortas (violetas/azules) y largas (naranjas/rojas) de la luz artificial pertinentes a nivel biológico (consulte [Medición de la luz relevante a nivel biológico](#)).

Objetivos de iluminación

Durante la etapa de planificación de un proyecto, el objetivo de iluminación artificial debería formularse con claridad y se debería tener en cuenta si realmente es necesaria esta luz artificial. Los objetivos de iluminación deberían ser específicos en cuanto a la ubicación y las ocasiones en las que es necesaria la luz artificial, si se requiere una diferenciación de color y si algunas zonas deberían permanecer oscuras. Los objetivos deberían incluir los requisitos de la vida silvestre identificados en el paso 2 y ajustarse a [la finalidad de estas Directrices](#).

Para obtener más información sobre el desarrollo de los objetivos de iluminación, consulte el apartado [Diseño de iluminación recomendado](#).

Paso 2: Describa la vida silvestre

Describa la biología y la ecología de la vida silvestre de la zona que puede verse afectada por la luz artificial (especies identificadas durante el proceso de control, Figura 3). Se describirá la abundancia, el estado de conservación y la importancia regional de la vida silvestre, así como la ubicación del [hábitat importante](#). Reconozca los parámetros biológicos y ecológicos relacionados con la evaluación, en especial el modo en que los animales percibirán visualmente la luz artificial. Esto incluye la sensibilidad fisiológica del animal a la longitud de onda y a la intensidad, y su campo de visión.

Según la disponibilidad de información, la magnitud de la actividad y la susceptibilidad de la vida silvestre a la luz artificial, este paso puede requerir solo un análisis documental. Si existe escasez de información o un gran potencial de efectos, podría ser necesario realizar un estudio de campo. Cuando exista la necesidad de controlar la eficacia de la mitigación de la iluminación y de las estrategias de gestión (paso 5), se deberá llevar a cabo un seguimiento de referencia.

Estudio documental sobre la vida silvestre

Debería realizarse una revisión de las bases de datos gubernamentales disponibles, de la literatura científica y de los informes no publicados para determinar si la fauna cuya conservación es motivo de preocupación y que es susceptible a los efectos de la luz artificial y/o que su hábitat importante podría estar presente en un radio de 20 km del área de interés.

Para evaluar el riesgo que puede correr la especie, se debería considerar la comprensión de su susceptibilidad a los efectos de la luz, así como el potencial de que la luz artificial afecte a la población local.

Se debería identificar el estado de conservación de la especie. Las características relevantes relativas al comportamiento y a la demografía de la población que deberían tenerse en cuenta incluyen el tamaño de la población, las etapas de vida actuales y el comportamiento habitual en ausencia de luz artificial. Este paso debería identificar también las características biológicas y ecológicas de la especie que serán relevantes para la evaluación. Esto puede incluir la comprensión de la estacionalidad de la vida silvestre que usa la zona, el comportamiento (es decir, la reproducción, la búsqueda de alimento, el descanso, nocturnidad), las rutas migratorias y las etapas de vida más susceptibles a la luz artificial. Asimismo, debería tenerse en cuenta el modo en que la luz artificial puede afectar a las fuentes de alimento, a la disponibilidad del hábitat y a los competidores o depredadores.

Estudios de campo para la vida silvestre

Si existe una disponibilidad insuficiente de datos para comprender la importancia potencial o real de una población o hábitat, puede resultar necesario realizar estudios de campo. La zona de influencia relativa a la iluminación artificial deberá ajustarse a cada caso y especie. Los estudios deberían describir el hábitat y la abundancia y densidad de especies a escala local y regional en una época del año relevante a nivel biológico.

Además de estudios de campo, pueden aplicarse métodos de detección remota. Para algunos taxones, p. ej., aves, la información de sistemas de radares meteorológicos, o incluso de radares específicos para pájaros, aumentará en gran medida la solidez y el alcance de los estudios, especialmente de noche. Estos datos son inestimables para entender los patrones de los movimientos a gran escala, sobre todo los relativos a la contaminación lumínica.

Seguimiento de referencia

Si se considera que la iluminación artificial pueda impactar en la vida silvestre, puede ser necesario llevar a cabo un seguimiento de referencia para informar de la mitigación y la gestión de la luz (paso 5).

Las necesidades de seguimiento de referencia y las técnicas de estudio de campo se ajustarán a cada especie concreta. En los apéndices técnicos [Tortugas marinas](#), [Aves marinas](#), [Aves costeras migratorias](#), [aves terrestres migratorias](#) y [murciélagos](#) se encuentran descritos minuciosamente los diferentes enfoques y parámetros. Para las demás especies, debería procurarse la orientación de expertos en especies.

Paso 3: Evaluación del riesgo

Con la información recopilada en los pasos 1 y 2, se debería evaluar el nivel de riesgo para la vida silvestre. Las evaluaciones de riesgo deberían llevarse a cabo en función de cada caso, puesto que estarán dedicadas a la vida silvestre en cuestión, al diseño y los objetivos de iluminación y a las condiciones ambientales predominantes. Las evaluaciones deberían realizarse de acuerdo con las directrices pertinentes para la gestión de riesgos. Se espera que la escala de la evaluación sea proporcional a la escala de la actividad y a la vulnerabilidad de la vida silvestre presente.

En general, la evaluación debería considerar el nivel de importancia del hábitat para la especie (p. ej., ¿es este el único lugar en el que pueden encontrarse estos animales?), la biología y la ecología de la vida silvestre, la cantidad y el tipo de luz artificial en cada fase de desarrollo (por ejemplo, construcción/operación) y si el escenario de iluminación puede causar una respuesta adversa. La evaluación debería tener en cuenta la gestión y la mitigación del impacto de la luz artificial que se va a implementar. Asimismo, debería considerar factores que puedan afectar a la percepción de la luz por parte del animal, la distancia de la fuente de luz y si la luz será visible de manera directa o si se verá como resplandor en el cielo. El proceso debería evaluar si la vida silvestre se verá alterada en su hábitat importante o desplazada y si la vida silvestre podrá llevar a cabo comportamientos esenciales como la búsqueda de alimento, la reproducción o la dispersión.

Si se identifica un riesgo probable, debería modificarse el diseño del proyecto o aplicarse mayor mitigación para reducir el riesgo.

Si es probable que el riesgo residual sea alto, debería considerarse si se debiese recomendar la evaluación del proyecto bajo la legislación nacional o subnacional pertinente.

Paso 4: Plan de gestión de iluminación artificial

El plan de gestión documentará el proceso de EIA. El plan debería incluir toda la información relevante obtenida en los pasos 1 a 3. Este debería describir los objetivos de iluminación, el entorno de luz existente, la vida silvestre susceptible presente, las características biológicas y comportamiento relevantes y la mitigación propuesta. El plan debería documentar con claridad el proceso de evaluación del riesgo, incluidas las consecuencias consideradas, la probabilidad de incidencia y toda suposición que respalde la evaluación. Debería documentar el alcance de la vigilancia e inspección para probar la eficacia de la mitigación propuesta y los activadores que provoquen una nueva evaluación de riesgo. Cuando la evaluación de riesgos considere improbable que la iluminación artificial propuesta afecte a la fauna y flora silvestres y no sea necesario un plan de gestión de la luz artificial, deberán documentarse la información y los supuestos en los que se basan estas decisiones.

Cuando se considere necesario un plan de gestión de la iluminación artificial, e debería contener un marco de gestión adaptativo definido para apoyar la mejora continua en la gestión de la luz, que incluya una jerarquía de las opciones de tratamiento de contingencias si las inspecciones de cumplimiento o vigilancia biológica y de la luz indican que la mitigación no cumple los objetivos del plan.

Los detalles y el alcance del plan deberían ser proporcionales a la escala del desarrollo y de los impactos potenciales en la vida silvestre.

Los apéndices técnicos [Tortugas marinas](#), [Aves marinas](#), [Aves costeras migratorias](#), [aves terrestres migratorias](#) y [murciélagos](#) ofrecen una serie de herramientas de opciones específicas para cada especie. Para las demás especies, debería procurarse la orientación de expertos en especies.

Paso 5: Vigilancia e inspección biológica y de la luz

El éxito de la mitigación del impacto y de la gestión de la luz artificial debería confirmarse mediante una labor de vigilancia y una inspección de cumplimiento. Las inspecciones relativas a la luz deberían llevarse a cabo periódicamente y las labores de vigilancia biológica y del comportamiento deberían realizarse en un marco temporal relevante para las especies presentes. Las observaciones de las interacciones de la vida silvestre deberían documentarse e ir acompañadas de información relevante como las condiciones climáticas o la fase lunar. Debe considerarse la posibilidad de supervisar los lugares de control. El seguimiento debe realizarse antes y después de los cambios en la iluminación artificial, tanto en el lugar afectado como en los lugares de control. El resultado de la vigilancia y la inspección es fundamental para obtener un enfoque de gestión adaptativa, y los resultados deben utilizarse para identificar los puntos en los que pueda ser necesaria una mejora de la gestión de la iluminación.

Las inspecciones deberían llevarse a cabo por parte de personal debidamente cualificado.

El seguimiento de la luz artificial de referencia previo o posterior a la construcción y la vigilancia e inspección biológica de la vida silvestre se detallan en los apéndices técnicos [Medición de la luz relevante a nivel biológico](#) e [Inspección de la luz](#) y en los apéndices técnicos dedicados a especies [Tortugas marinas](#), [Aves marinas](#), [Aves costeras migratorias](#), [aves terrestres migratorias](#) y [murciélagos](#).

Fase 6: Revisión

Una vez que se hayan completado la vigilancia biológica y la inspección lumínica, se debería realizar una revisión para comprobar si se han cumplido los objetivos de iluminación. La revisión debería incorporar todas las circunstancias cambiantes y ofrecer recomendaciones para la mejora continua. Las recomendaciones se deberían incorporar a medida que se mejoren las mitigaciones, se introduzcan cambios en los procedimientos y se renueve el plan de gestión de luz. Estudios de caso

Al contrario que muchas formas de contaminación, la luz artificial puede eliminarse del medio ambiente. Los siguientes estudios de caso muestran que es posible equilibrar los requisitos de la seguridad humana y de conservación de la vida silvestre.

Planta de gas natural licuado Gorgon en la isla Barrow, Australia Occidental

El proyecto Gorgon de Chevron-Australia es uno de los mayores proyectos de gas natural del mundo. Esta instalación de procesamiento de gas natural licuado (GNL) se encuentra en la isla Barrow, una reserva natural de Australia Occidental de clase A de la costa de Pilbara que es conocida por su diversidad de fauna, incluida el hábitat importante de anidación de las tortugas kikilas (*Natator depressus*) (Moro et al., 2018).

La planta de GNL se construyó junto a importantes playas de anidación de tortugas. El efecto de la luz en las tortugas y las crías emergentes se tuvo en cuenta desde el principio, en la fase de diseño del proyecto, y se incorporó la mitigación específica para la especie en la planificación del proyecto²⁶. La gestión de luz se implementa, vigila e inspecciona mediante un plan de gestión de luz, y el comportamiento y la demografía de la población de tortugas mediante el *Plan de gestión a largo plazo relativo a las tortugas marinas* (Chevron Australia, 2018).

La iluminación es necesaria para reducir los riesgos de seguridad del personal y para mantener un lugar de trabajo seguro conforme a los requisitos de seguridad y salud en el entorno laboral. Los objetivos de iluminación tuvieron en cuenta estos requisitos al tiempo que también tenían como propósito minimizar el resplandor lumínico y eliminar la emisión de luz difusa directa sobre las playas de anidación. Esto incluye la iluminación protegida o direccional, el montaje de los aparatos de iluminación lo más bajo posible, iluminación con rejillas en bolardos de bajo nivel, temporizadores automáticos o interruptores fotovoltaicos y cortinas oscuras en las ventanas. Los edificios de alojamiento se orientaron de manera que el menor número posible de ventanas estuviese frente a las playas y las zonas de aparcamiento se ubicaron de tal manera que se redujera la luz difusa de los faros de los vehículos sobre las dunas.

La gestión de la iluminación en la calzada y el muelle de GNL adoptó muchas de las características de diseño que se usaron para la planta y las zonas de alojamiento. La actividad de carga de GNL cuenta con la asistencia de una flota de remolcadores que se construyeron específicamente para minimizar la luz difusa externa. Se solicita a las embarcaciones de GNL que minimicen la luz no esencial mientras permanecen amarradas en el muelle de carga.

Para reducir el riesgo de resplandor en el cielo, la antorcha de la planta de GNL se diseñó como antorcha de caja terrestre en lugar de la antorcha en pilar más convencional. Un muro de protección con rejillas reduce aún más los efectos de la antorcha.

Las revisiones de luz se realizan antes de la temporada de anidación para disponer de tiempo para implementar las medidas correctivas necesarias. La concienciación del personal se lleva a cabo al inicio de cada temporada de reproducción de la tortuga para comprometer aún más a los empleados en el esfuerzo por reducir la luz siempre que sea posible.

El *Plan de gestión a largo plazo relativo a las tortugas marinas* (Chevron Australia, 2018) prevé la evaluación de riesgo continuado del impacto de la luz artificial en la anidación de las tortugas kikkas en las playas adyacentes a la planta de GNL, incluidas las medidas de mitigación para minimizar el riesgo que supone la luz para las tortugas. El plan también prevé un programa de vigilancia e investigación de las tortugas continuado. El [plan](#) está disponible al público.



Figura 6. Planta de gas natural licuado en la isla Barrow Fotografía: Chevron Australia.

Isla Phillip, Victoria, Australia

La isla Phillip de Victoria es el hogar de una de las mayores colonias a nivel mundial de la pardela de Tasmania, especie migratoria listada (*Ardenna tenuirostris*). Contiene más del 6 % de la población mundial de esta especie (Rodríguez et al., 2014). Las pardelas anidan en madrigueras y son activas durante la noche en sus colonias reproductoras. Las crías dejan los nidos de noche. Los polluelos, al estar expuestos a luz artificial, pueden desorientarse y quedarse en tierra. Algunos polluelos alcanzan el océano, pero en ocasiones vuelven a la costa atraídos por la iluminación. Los polluelos son también vulnerables a chocar contra infraestructuras si se desorientan y, una vez en el suelo, son vulnerables a los depredadores o a morir atropellados ⁴ (Figura 7 (Rodríguez et al., 2017c).

La isla Phillip también atrae a más de un millón de visitantes al año durante las temporadas altas de vacaciones para visitar el centro de ecoturismo del pingüino azul (*Eudyptula minor*), Penguin Parade®. La mayoría de los visitantes conducen desde Melbourne y cruzan un puente para acceder a la isla. El aumento del tráfico por carretera al atardecer durante las vacaciones de Pascua coincide con el primer vuelo de las crías de pardelas desde sus madrigueras (Rodríguez et al., 2014).

En respuesta a las muertes de los polluelos, Phillip Island Nature Parks ha elaborado un programa anual de rescate de pardelas para retirar y liberar de manera segura a las aves que se quedan en tierra (Rodríguez et al., 2014). En colaboración con SP Ausnet y Regional Roads Victoria, las luces de la carretera del puente hacia la isla se apagan durante el periodo de cría (Rodríguez et al., 2017b). Para abordar los problemas de seguridad humana, los límites de velocidad se han reducido y se han colocado señales de advertencia durante la temporada de cría (Rodríguez et al., 2017ab). La iluminación reducida de las carreteras y las señales y los

controles de tráfico asociados, en combinación con un fuerte programa de rescate, han reducido el índice de mortalidad de las pardelas (Rodríguez et al., 2014).



Figura 7. Cría de pardela de Tasmania (*Ardenna tenuirostris*) en tierra debido a la luz artificial, isla Phillip. Fotografía: Airam Rodríguez.

Controles de luz en las embarcaciones de investigación de la isla Raine

La embarcación principal de los Parques Marinos de Queensland, el *Reef Ranger*, es un catamarán de 24 m financiado conjuntamente por la Autoridad del Parque Marino de la Gran Barrera de Coral y el Servicio de Vida Silvestre y Parques de Queensland, bajo el Programa de gestión de campo (PGC). El *Reef Ranger* suele estar anclado en islas de alta mar que son conocidas por ser lugares de anidación de tortugas marinas. Con frecuencia se encuentra en la isla Raine, uno de los mayores lugares de anidación (Limpus et al., 2003) de tortuga verde a nivel mundial y hogar de una importante colonia de aves marinas.

Las embarcaciones a menudo emiten gran cantidad de luz artificial al anclar, por lo que el PGC tomó medidas para minimizar la difusión de luz directa procedente de la embarcación. Se implementó una política sin luces cerca de las playas de anidación de tortugas por la que se limitaba el uso de luces de embarcación exteriores, excepto por motivos de seguridad.

El acondicionamiento original de la embarcación no incluía persianas internas para bloquear la luz (Figura 8a). Estas se instalaron antes de la temporada 2018-2019 de anidación de tortugas en Queensland. Las persianas impiden que se emita luz desde el interior de la embarcación, de tal manera que se limita la luz difusa en torno a la misma (Figura 8b). Esto puede suponer una enorme diferencia en lugares remotos (naturalmente oscuros) como la isla Raine.

La información anecdótica sugiere que las crías anteriormente atraídas y capturadas en las piscinas de luz en torno a la embarcación ya no se acercan hacia el *Reef Ranger*.

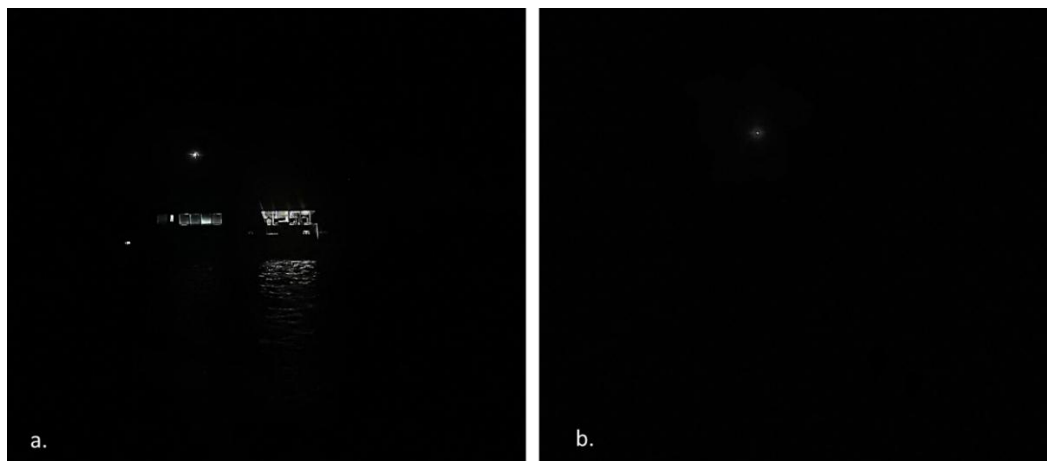


Figura 8. Gestión de iluminación de la embarcación en la isla Raine. A. Embarcación con luces de cubierta, persianas venecianas bajadas y luz de ancla encendida. B. Embarcación con las luces exteriores apagadas y persianas que bloquean la luz instalada (téngase en cuenta que la luz de

ancla es un requisito marítimo de seguridad). Fotografía: Servicio de Vida Silvestre y Parques de Queensland.

«Tribute in Light», Nueva York, EE. UU.

«[Tribute in Light](#)» es un evento anual que se celebra todos los 11 de septiembre desde 2002 para recordar las vidas perdidas en el atentado terrorista del 11 de septiembre de 2001. El National September 11 Memorial & Museum (NSMM) opera en la actualidad la instalación lumínica sobre un aparcamiento cercano a la antigua ubicación del World Trade Center en la ciudad de Nueva York, Nueva York, al sur de la isla de Manhattan. La ciudad de Nueva York es un entorno con una elevada contaminación lumínica, pero, incluso en esta ubicación, las bombillas de xenon de 88 ~7500 vatios que apuntan hacia el cielo son visibles desde una distancia de al menos 100 km en una noche despejada, lo que les da la apariencia de dos torres altas de luz. Las bombillas poseen un tratamiento dicróico, así como reflectores de níquel y rodio que reducen en gran medida los espectros de infrarrojos y ultravioletas y crean un efecto similar al de la luz diurna.

En la zona suelen tener lugar movimientos migratorios nocturnos masivos de aves durante mediados de septiembre (ver BirdCast; Farnsworth et al., 2016; van Doren et al., 2015; Horton et al., 2016ab). Un estudio de Van Doren et al. (2017) determinó que the Tribute in Light «provocó alteraciones significativas en el comportamiento de las aves, incluso en condiciones de buena visibilidad (es decir, cielos despejados sin nubosidad), en altitudes de hasta 4 km».

Dado que la fecha de los movimientos migratorios depende de las condiciones meteorológicas y del viento locales y regionales (Richardson, 1978; Van Belle et al., 2007; Kemp et al., 2013; La Sorte et al., 2015), la magnitud del paso migratorio de la noche del 11 de septiembre varía en gran medida cada año. Un acuerdo existente entre New York City Audubon (NYCA) y el NSMM regula cuándo se inician los procedimientos para el apagado: cuando el número de aves que circula por los haces supera los 1000 individuos, basándose en observaciones visuales, NYCA solicita que las luces de Tribute in Light se apaguen ≈20 minutos. Estas solicitudes proceden de observadores in situ que supervisan directamente a las aves y sus comportamientos en los haces. Este plan se ejecutó antes de que cualquier información avalara su eficacia.

El estudio de Van Doren et al. (2017) cuantificó:

- 1) las densidades y velocidades de vuelo de las migrantes aéreas cerca de la instalación usando datos de radares meteorológicos, lo que reveló cómo cambiaron la cantidad de aves y sus índices de paso en presencia o ausencia de iluminación,
- 2) la actividad vocal de las aves mediante la grabación de sus vocalizaciones durante el vuelo, o llamadas al vuelo, desde la base de la instalación, y
- 3) comportamientos simulados de las aves modelados en condiciones de luz artificial por la noche para su comparación con datos observados mediante radares.

La conclusión más sencilla fue que las luces de alta intensidad tienen la capacidad de afectar en gran medida el comportamiento en las migraciones aviares en función de una amplia gama de condiciones. Van Doren et al. (2017) observaron que, cuando la instalación estaba iluminada, las aves se acumulaban en densidades mayores, disminuían su velocidad de vuelo, seguían rutas de vuelo circulares y vocalizaban a menudo. Calcularon que la instalación afectó a ≈1,1 millón de aves durante el período de estudio de 7 días a lo largo de 7 años. Las densidades de aves cerca de la instalación de Tribute in Light superaron magnitudes entre 20 y 100 veces mayores que las densidades de referencia circundantes durante las observaciones anuales. No

obstante, sus trastornos de comportamiento desaparecían cuando las luces se apagaban, lo que pone de relieve que la eliminación de la luz durante las noches con migraciones sustanciales de aves es una estrategia viable para minimizar posibles interacciones fatales entre la luz artificial por la noche, las estructuras y las aves.

Tribute in Light es probablemente una de las exhibiciones lumínicas más icónicas y emotivas del mundo. Es uno de los rasgos más reconocibles del paisaje lumínico nocturno de la ciudad de Nueva York, un paisaje lumínico con un enorme reconocimiento público en todo el mundo. Sin embargo, un sello distintivo de este estudio fue la cooperación frecuente y pública entre el NSMM, The Municipal Art Society, NYCA, el Cornell Lab of Ornithology y las partes con un interés y una responsabilidad directos hacia este evento, las cuales reconocieron su potencial para afectar de manera negativa a las aves y acordaron desconectar las luces periódicamente en beneficio de las aves migratorias. Este es un reconocimiento alentador de la importancia de la conservación de las aves. Además, a pesar de la confusión y frustración ocasionales entre los espectadores del Tribute in Light, la cobertura mediática suele subrayar un mensaje unificado de las partes interesadas relativo a equilibrar los peligros potenciales para las aves migratorias con la intención y el espíritu de la exhibición. Todas las partes acordaron mantener la exhibición lumínica a no ser que unas condiciones potencialmente peligrosas para las aves requirieran un apagado temporal de las luces. Si bien suspender la exhibición sería lo mejor para las aves de migración nocturna, este supuesto podría no llegar a producirse nunca, dadas las necesidades psicológicas y sociales de las comunidades humanas locales, regionales, nacionales y mundiales.

Se ha producido una cobertura mediática positiva considerable de este estudio relativo a Tribute in Light, entre otros por parte de científicos, prensa escrita, producciones cinematográficas, medios internos y sociales y libros de no ficción, que han reflejado la búsqueda de consenso, la protección de las aves migratorias, la metodología y el impacto de las medidas para reducir la contaminación lumínica. Asimismo, el perfil, el debate y la atención que rodean al estudio de sus impactos continúa proporcionando 1) una base para la mitigación del impacto sobre las aves en dicha ubicación anualmente y, lo que es más importante, 2) ciencia aplicada para respaldar la aprobación de legislación esencial por parte del Consejo municipal de Nueva York para reducir o eliminar la contaminación lumínica a fin de proteger a las aves migratorias nocturnas.

Tribute in Light es una fuente de luz extremadamente intensa, pero estudios recientes tanto en América como en Europa (Van Doren et al. 2021, Korner et al., 2022) han confirmado la inmensa amenaza que suponen para las aves migratorias entornos urbanos más típicos. Usando datos a largo plazo de un edificio cada uno, ambos estudios presentaron pruebas de la gran cantidad de muertes de aves terrestres de migración nocturna debido a su atracción hacia la iluminación nocturna

Apéndice A – Mejores prácticas en el diseño de la iluminación

La oscuridad natural tiene un valor de conservación equiparable al agua, al aire y al suelo limpios y deberá protegerse mediante un diseño de iluminación de buena calidad.

Se pueden aplicar principios de gestión sencillos para reducir la contaminación lumínica, tales como:

- 1. Comenzar con la oscuridad natural y solo añadir luz para fines específicos.**
- 2. Efectuar controles lumínicos adaptativos para gestionar el tiempo, la intensidad y el color de la iluminación.**
- 3. Iluminar solo el objeto o el área previstos: mantener las luces cerca del suelo, orientadas y protegidas para evitar el derrame de luz.**
- 4. Utilizar la menor intensidad de iluminación idónea para el objetivo previsto.**
- 5. Utilizar superficies oscuras no reflectantes.**
- 6. Utilizar luces sin longitudes de onda azul, violeta y ultravioleta si es posible. En caso contrario, usar luces con longitudes de onda reducidas o filtradas azules, violetas y ultravioletas.**

La aplicación de las mejores prácticas en el diseño de la iluminación para toda la iluminación exterior tiene como objetivo reducir el resplandor del cielo y reducir al mínimo los efectos de la luz artificial en la fauna silvestre.

Objetivos de la iluminación

Al comienzo de un proceso de diseño de la iluminación, se deberá establecer claramente la finalidad de la iluminación artificial y considerar si es necesaria. La iluminación exterior para aplicaciones públicas, comerciales o industriales tiene generalmente la finalidad de proporcionar un entorno de trabajo seguro. Si existe algún problema relativo a la seguridad, deberían utilizarse alternativas a la iluminación exterior allí donde sea posible; por ejemplo, los bordillos, escalones y otros peligros potenciales pueden señalarse usando pintura y/o cinta reflectante y/o materiales autoluminosos en lugar de instalar iluminación (IDA y IES, 2020).

La iluminación exterior puede servir también para proporcionar servicios de recreo o de comercio para las personas. En cambio, las áreas de oscuridad, la gestión estacional de la luz artificial o la reducción al mínimo del resplandor del cielo pueden ser necesarios para la protección de la fauna silvestre, la astronomía o el turismo de cielo oscuro.

En los objetivos de la iluminación deberán tenerse en cuenta los requisitos reglamentarios y las normas pertinentes para la actividad, la ubicación y la vida de la fauna silvestre presente.

Los objetivos deberán describirse indicando los lugares y horarios específicos para los que se requiere utilizar la luz artificial. Se deberá considerar también si se requiere la diferenciación de color y si algunas áreas deberán permanecer oscuras, ya sea para contrastar con las áreas iluminadas o bien para evitar el derrame de luz. Cuando sea pertinente, los requisitos relativos

a la fauna silvestre deberán formar parte de los objetivos de iluminación. por ejemplo, evitando la iluminación de la vegetación.

La iluminación de fachadas (también conocida como iluminación de cortesía, iluminación arquitectónica o iluminación decorativa) no debería utilizarse o debería eliminarse siempre que sea posible. La iluminación de fachadas de edificios como iglesias suele contribuir a la contaminación lumínica del área circundante y se ha determinado que afecta a los lugares de refugio de murciélagos, especialmente en Europa. Ver Apéndice. Debería evitarse, en particular, la iluminación de monumentos en zonas rurales. Si la iluminación de fachadas es necesaria, la luz debería quedar reducida únicamente a la superficie objetivo y estar sujeta a límites máximos de iluminancia o luminancia (Kyba et al., 2018).

Una instalación de iluminación se considerará satisfactoria si cumple con los objetivos de iluminación (en particular las necesidades de la fauna silvestre) y si las áreas de interés pueden ser vistas por los seres humanos de manera clara, fácil, segura y sin molestias.

A continuación, se formulan los principios generales aplicables a la iluminación, que beneficiarán al medio ambiente y a la fauna silvestre local, y reducirán los gastos de energía.

Principios de mejores prácticas en el diseño de la iluminación

Las mejores prácticas en el diseño de la iluminación se basan en los principios de diseño que se exponen a continuación. Son aplicables en todas partes, especialmente en las proximidades de la fauna silvestre.

1. Comenzar con la oscuridad natural

El punto de partida para todos los planes relativos a la iluminación deberá ser la oscuridad natural (Figura 9). La luz artificial solo deberá añadirse para fines específicos y definidos, y solo en el lugar requerido y por la duración especificada para el uso humano. Los planificadores deberán tener en cuenta un límite máximo de cantidad de luz artificial e instalar solo la cantidad necesaria para cumplir con los objetivos de iluminación.

En un contexto de planificación regional, deberá prestarse atención a designar los “lugares oscuros” donde, en virtud de las disposiciones de planificación locales, se prohíba toda actividad que requiera el uso de luz artificial al exterior.

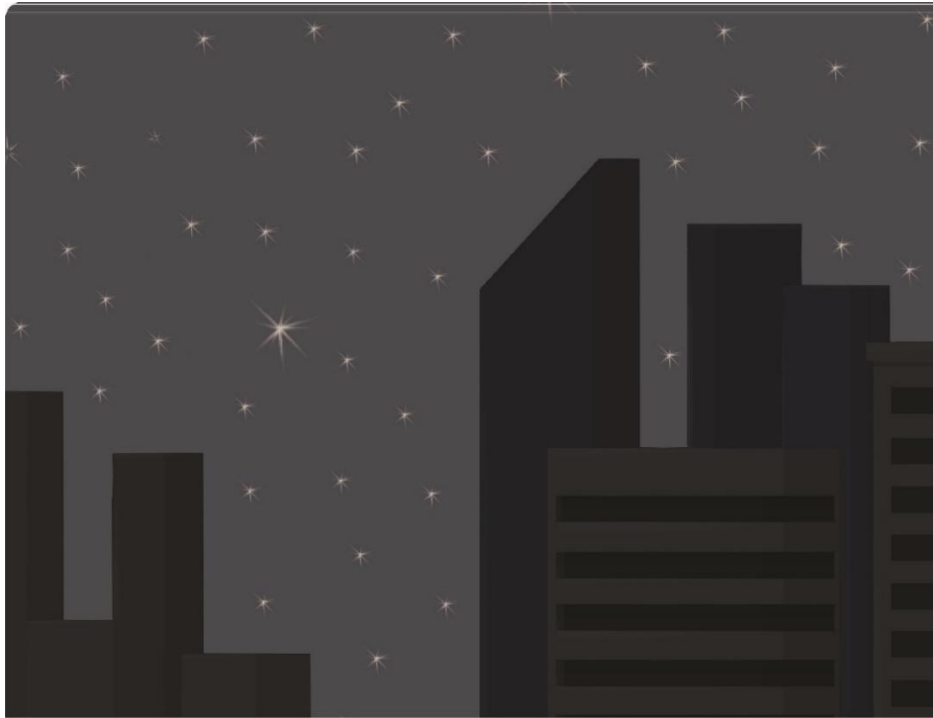


Figura 9. Comienzo con la oscuridad natural

2. Aplicar controles adaptativos

Los avances recientes en la tecnología de control inteligente ofrecen una gama de opciones para una gestión de la luz artificial mejor controlada y dirigida al objetivo (Figura 10). Por ejemplo, la iluminación industrial tradicional podría permanecer encendida toda la noche porque el sodio de alta presión, el halogenuro metálico y las luces fluorescentes tienen un largo período de calentamiento y enfriamiento. De lo contrario se podría poner en peligro la seguridad del operador en caso de emergencia. Con la introducción de luces LED controladas de manera inteligente, la iluminación de la planta industrial se puede encender y apagar instantáneamente y activar solo cuando sea necesario, por ejemplo, cuando hay un operador físicamente presente en el sitio

Los controles inteligentes y la tecnología LED permiten:

- -gestión remota de las luces (controles informáticos)
- -encendido y apagado instantáneo de las luces
- -control del color de la luz (tecnología emergente)
- -atenuación, temporizadores, velocidad de parpadeo, sensores de movimiento, directividad bien definida de la luz.

Los controles adaptativos deberán maximizar el uso de la tecnología más avanzada de iluminación para reducir al mínimo la emisión de luz y el consumo de energía innecesarios. Los controles deberían ser automáticos y contar con interruptores de seguridad que no requieran la presencia humana para desconectarlos cada noche. No debería existir la posibilidad de que dicha iluminación se quede encendida accidentalmente toda la noche. Los negocios y las oficinas deberían utilizar controles adaptativos para apagar las luces tras su horario habitual y para limitar el resplandor y la superficie de los letreros luminosos.

Las farolas pueden usar un control adaptativo de la iluminación (atenuación, detección, programación) para atenuar los niveles lumínicos en función de las clases de iluminación

pertinentes (ver, por ejemplo, [CIE 115:2010: Alumbrado de carreteras para tráfico de vehículos y peatones](#))

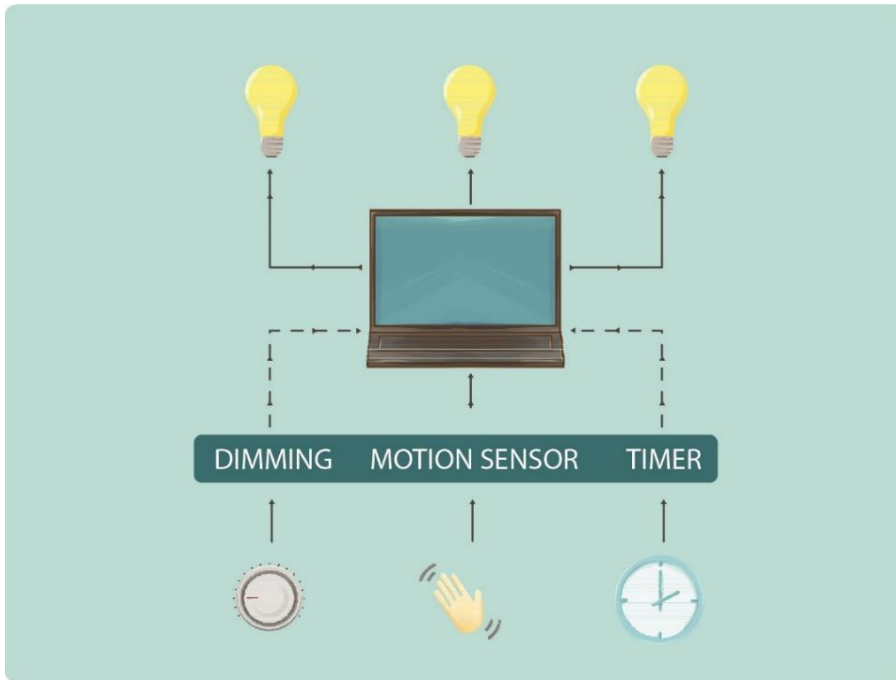


Figura 10 Utiliza controles adaptativos para gestionar el tiempo, la intensidad y el color de la luz.

3. Iluminar solo el objeto o el área previstos: mantener las luces cerca del suelo, dirigidas al objetivo y apantalladas

El derrame de luz es la luz que cae fuera del área que ha de iluminarse. La luz que se derrama sobre el plano horizontal contribuye directamente al resplandor artificial del cielo, mientras que la luz que se derrama en áreas adyacentes en el suelo (también conocida como intrusión de luz) puede ser perjudicial para la fauna silvestre en áreas adyacentes. Todos los dispositivos de luz deberán ubicarse, dirigirse o protegerse para evitar iluminar cualquier cosa que no sea el objeto o el área objetivo (Figura 11). Las luces que ya existen se pueden modificar instalando pantallas.

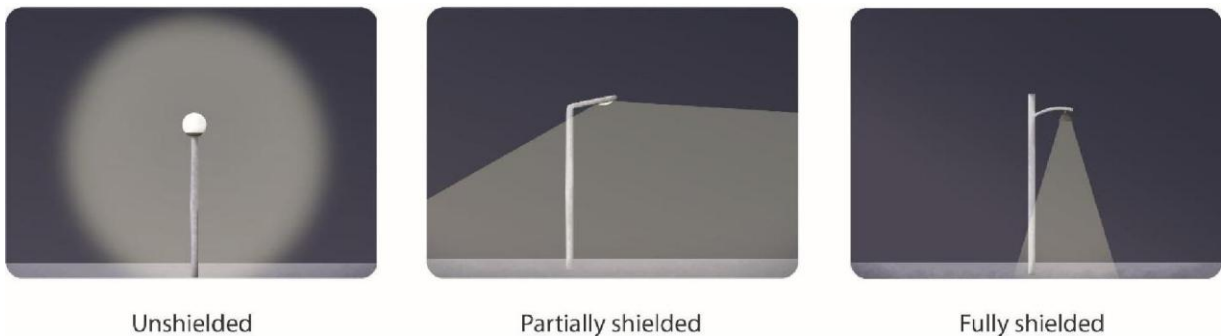


Figura 11 Las luces deberán apantallarse para evitar que se ilumine cualquier cosa que no sea el área o el objeto a que se destina la iluminación. Figura adaptada de Witherington y Martin (2003)³.

Una iluminación de menor altura que sea direccional y apantallada puede resultar sumamente eficaz. Las luminarias deberán instalarse lo más cerca posible al suelo y apantalladas para reducir el resplandor del cielo (Figura 12).

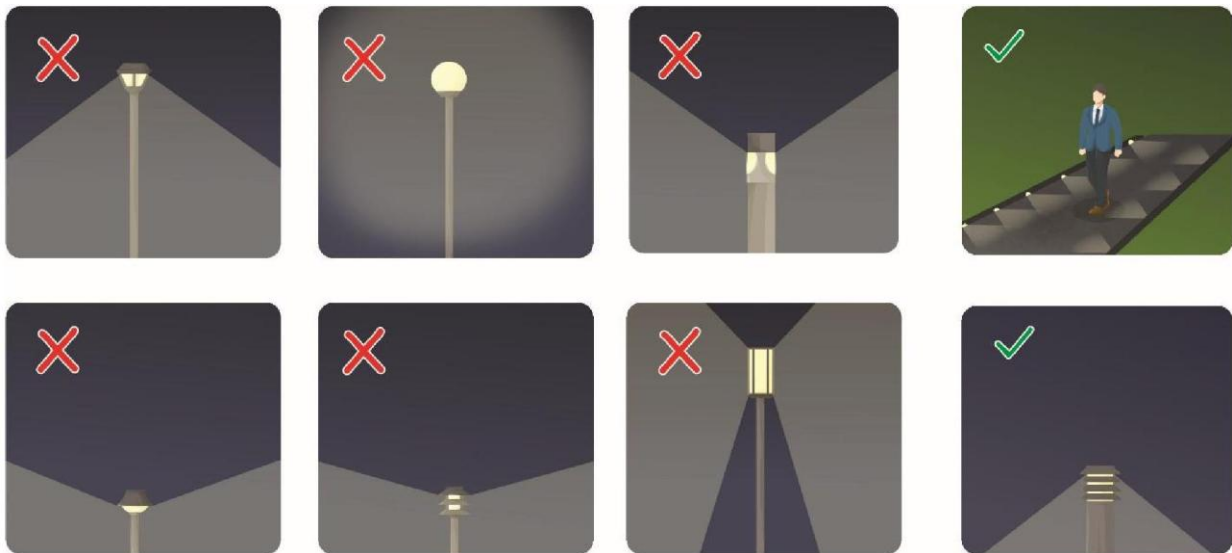


Figura 12 La iluminación de la pasarela deberá instalarse a una altura lo más baja posible y apantallada. Figura adaptada de Witherington y Martin (2003)³.

Se puede evitar que la luz artificial brille por encima del plano horizontal asegurando que la luminaria esté instalada horizontalmente con respecto al suelo y no en ángulo, o instalada en un edificio de forma que la estructura impida que la luz brille por encima del plano horizontal, por ejemplo, instalándola bajo el alero de tejado que sobresale. Al determinar el ángulo de instalación, deberán tenerse en cuenta las propiedades reflectantes del entorno receptor. El flujo hemisférico superior de la luminaria (FHS) debería estar lo más cercano posible a 0,0 % (ver [CIE 150:2017 Guía para la Limitación de los Efectos Molestos Procedentes de las Instalaciones de Iluminación Exteriores](#)). Esto exige que las luminarias se monten en horizontal y tengan una óptica plana debajo de la fuente de luz (Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, 2021). No debería utilizarse iluminación con montaje ajustable, puesto que permite que las luminarias se inclinen hacia arriba, frustrando así su propia protección.

En cuanto a las farolas, debería emplearse un diseño de alumbrado eficiente que incluya una selección adecuada de ópticas y potencia lumínica, evitando arrojar luz directa a las superficies de la carretera y la acera. Debería utilizarse protección cuando sea necesario y en función del volumen y las condiciones del tráfico. La distancia y la altura de los postes de alumbrado debería elegirse por medio de un diseño de alumbrado adecuado, de tal manera que se minimice la luz difusa, el deslumbramiento y la iluminación del área circundante respetando los límites de iluminación pertinentes.

Si se ha de utilizar una luminaria no apantallada, deberá tenerse en cuenta la dirección de la luz y la necesidad de aplicar alguna forma de barrera física opaca permanente que proporcione la protección requerida. Puede ser una cobertura o parte de un edificio (Figura 13). Deberá procurarse proteger también las superficies adyacentes, si son de color claro, para evitar que la luz reflejada sea excesiva y se agregue al resplandor del cielo.

Deberá tenerse en cuenta asimismo la posibilidad de bloquear todo derrame de luz de las fuentes de luz internas. Como elementos de bloqueo pueden utilizarse persianas o contraventanas para las partes transparentes, incluidas las claraboyas, de un edificio. Algunas ubicaciones y climas podrían no permitirlo debido a la falta de tecnología disponible y de otras cuestiones prácticas, por ejemplo, en lugares donde no haya aire acondicionado, podría ser necesario abrir las ventanas para que circule el aire, lo que implica que podría no ser posible bloquear la luz difusa de fuentes internas.

Deberían evitarse los focos en la medida de lo posible. Cuando se use, debería ser de arriba hacia abajo y con una protección completa. Ver [IDA-Criteria for Community-Friendly Outdoor Sports Lighting](#) para obtener más información.

Los reflectores deberán utilizarse únicamente en situaciones de emergencia.

El resplandor de las señales y las vallas digitales led debería limitarse. Para las mejores prácticas de gestión relativas a las señales led, ver [IDA Guidance for Electronic Message Centers \(EMCs\) \(IDA, 2019\)](#) y [Zielinska-Dabkowska y Xavia \(2019\)](#).

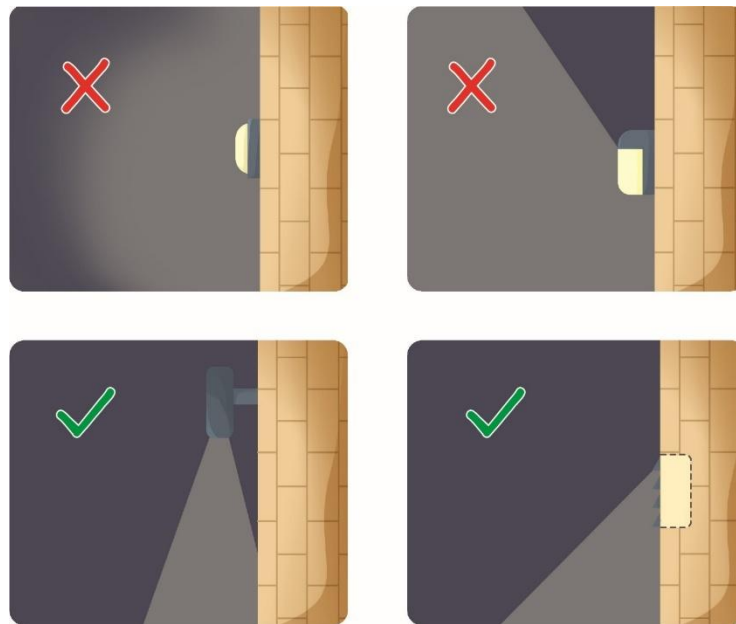


Figura 13 La iluminación deberá estar dirigida de forma que quede iluminada solo el área a la que se destina la iluminación. Figura adaptada de Witherington y Martín (2003)³.

4. Utilizar una iluminación adecuada

La intensidad de la iluminación deberá ser la adecuada para desarrollar la actividad. Partiendo de una base sin luces, utilizar solo el número e intensidad mínimos de luces necesarias para proporcionar una iluminación segura para el área en cuestión y en el tiempo requerido para satisfacer los objetivos de iluminación. La cantidad mínima de luz necesaria para iluminar un objeto o área deberá evaluarse durante las fases iniciales de diseño, e instalarse solo la cantidad de luz evaluada. Por ejemplo, en la Figura 14 se ofrecen opciones de mejor a peor de la iluminación de un estacionamiento.



Figura 14 Opciones de iluminación para un estacionamiento. Figura adaptada de Witherington y Martin (2003)³.

Modelos de diseño de iluminación listos para el uso

Deberá evitarse el uso de paquetes de ingeniería de diseño asistido por computadora que no tienen en cuenta las necesidades de la fauna silvestre y solo recomiendan un diseño de iluminación estándar para una aplicación general, o bien deberán modificarse para adaptarlos a los objetivos, la ubicación y los factores de riesgo específicos del proyecto.

Tener en cuenta la intensidad de la luz producida más que la energía requerida para fabricarla.

Los avances tecnológicos ofrecen nuevos tipos de bombillas que producen una cantidad considerablemente mayor de luz por unidad de energía. Por ejemplo, las luces LED producen entre dos y cinco veces mayor cantidad de luz que las bombillas incandescentes. La cantidad de luz producida (lumen), más que la cantidad de energía utilizada (vatios), es la consideración más importante para asegurar que un área no esté excesivamente iluminada.

Examinar la reevaluación de los sistemas de seguridad y utilizar iluminación con sensores de movimiento

Los avances tecnológicos ofrecen técnicas de computadora, como la detección de intrusos por rayos infrarrojos en zonas de seguridad, que probablemente proporcionan resultados de mejores tasas de detección que un observador humano que realiza el seguimiento de una zona iluminada. No obstante, parte de la vida silvestre es sensible a los infrarrojos (IR) y a los infrarrojos cercanos, por lo que estas emisiones deberían eliminarse siempre que sea posible (Campbell et al., 2002; Shcherbakov et al., 2013; Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre, 2020).

Utilizar iluminación de reducido resplandor

La iluminación de alta calidad y reducido resplandor deberá constituir siempre una consideración importante, independientemente de cómo se ha de diseñar el proyecto. Una iluminación de reducido resplandor mejora la visibilidad del usuario por la noche, reduce la fatiga ocular, mejora la visión nocturna y proporciona luz donde se necesita.

Usar montajes a alturas bajas también funciona bien como medio para reducir o eliminar el deslumbramiento. Por ejemplo, iluminar un sendero con un alumbrado bajo, al estilo de bolardos, que limite la luz a la superficie del camino, elimina prácticamente el deslumbramiento en comparación con el uso de un alumbrado convencional post-top.

5. Utilizar superficies de colores oscuros no reflectantes.

La luz reflejada de superficies muy pulidas, brillantes o de colores claros, tales como las infraestructuras pintadas de blanco, el mármol pulido o la arena blanca, pueden contribuir al resplandor del cielo. Por ejemplo, deberán explorarse alternativas a pintar los tanques de almacenamiento con pintura blanca para reducir el calentamiento interno durante el diseño técnico inicial. Considerando la reflectancia de las superficies, deberá tenerse en cuenta la necesidad de ver la superficie, ya que las superficies más oscuras requerirán más luz para ser visibles. También debería tenerse en cuenta que usar superficies reflectantes puede reducir en ocasiones la necesidad de alumbrado adicional. Deberían utilizarse o evitarse las superficies reflectantes adecuadamente y de tal manera que se reduzca la contaminación lumínica general. El reflejo de otras superficies, como aceras, también puede minimizarse eligiendo los materiales con cuidado. En el [Plan de gestión de la luz artificial](#) deberá figurar el color de la pintura o material seleccionado. Las aguas abiertas no deben iluminarse porque reflejan la luz directamente de manera ascendente, al cielo nocturno, y las longitudes de onda cortas pueden penetrar en el agua afectando a la vida silvestre acuática.

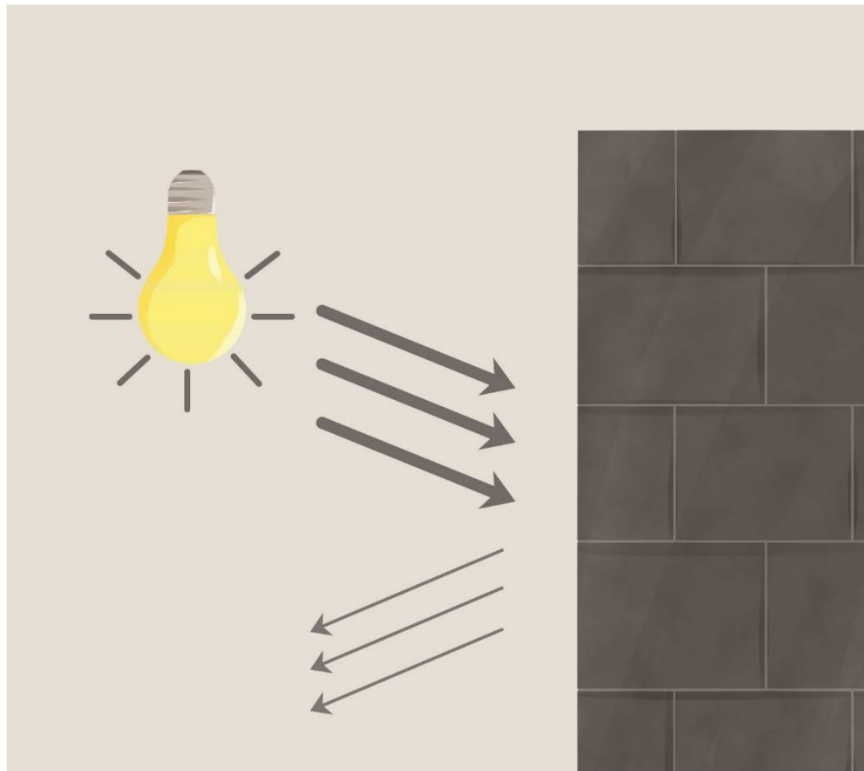


Figura 15 Utilice superficies no reflectantes de color oscuro.

6. Utilizar luces sin longitudes de onda azul, violeta y ultravioleta si es posible. En caso contrario, usar luces con longitudes de onda reducidas o filtradas azules, violetas y ultravioletas.

La luz de longitud de onda corta (azul) se dispersa más fácilmente en la atmósfera y, por lo tanto, contribuye más al resplandor del cielo que la luz de longitud de onda más larga. Además, la mayor parte de la fauna silvestre es sensible a la luz de longitud de onda corta (azul/violeta) (para un examen detallado, consultar [¿Qué es la luz y cómo la perciben los animales silvestres?](#)). Como regla general, solo se deberán utilizar luces violeta o azul de reducida (500 nm y por debajo) longitud de onda o ninguna de ellas para evitar efectos no deseados. Cuando la fauna silvestre afectada sea sensible a la luz de longitud de onda más larga (p. ej., algunas especies de aves), se deberá examinar la posible selección de la longitud de onda caso por caso.

Al determinar la longitud de onda de luz adecuada que ha de utilizarse, deberán tenerse en cuenta todos los objetivos de iluminación. Si se requiere una buena selección del color para uso humano, se deberán adoptar otras medidas de mitigación, tales como un control estricto del derrame de luz, el uso de linternas frontales o temporizadores o sensores de movimiento para controlar las luces.

No es posible determinar cuánta luz azul emite una fuente de luz artificial por el color de luz que produce (véase [Diodos emisores de luz](#)). las luces LED de todos los colores, particularmente el blanco, pueden emitir una gran cantidad de luz azul y la [temperatura de color correlacionada](#) (CCT) solo proporciona una representación del contenido de luz azul de una fuente de luz. Se deberán tener en cuenta las características espectrales (distribución de la potencia espectral) de la iluminación para asegurar que se reduzca al mínimo la luz de longitud de onda corta (500 nm y por debajo). Las longitudes de onda más largas (rojas) no suelen dispersarse, ya que podrían afectar a una zona más reducida. Sin embargo, muchas especies son vulnerables a la exposición a longitudes de onda más largas o a la radiación infrarroja (IR). Puesto que la IR no es visible para los humanos, no debería emplearse en iluminación exterior. Las fuentes de luz tradicionales más antiguas como las HID, las HPS y, hasta cierto punto, incluso las lámparas fluorescentes, emiten IR. El uso de ledes implica que la IR puede eliminarse de la iluminación exterior.

Apéndice B – ¿Qué es la luz y cómo la percibe la fauna?

Una comprensión básica de cómo se define, se describe y se mide la luz es fundamental para diseñar la mejor gestión posible de la luz artificial para la protección de la fauna silvestre.

Los seres humanos y los animales perciben la luz de manera diferente. No obstante, tradicionalmente, la definición y medición de la luz se ha centrado exclusivamente en la visión humana. Los equipos comerciales de seguimiento de la luz están calibrados para la sensibilidad del ojo humano y son poco sensibles a la luz de longitud de onda corta que es más visible para los animales silvestres. Los efectos de la luz artificial en la fauna silvestre varían según la especie y deberán considerarse caso por caso. Estas cuestiones deberán tenerse en cuenta al describir, hacer el seguimiento y diseñar la iluminación cerca de un hábitat importante para la fauna silvestre. Cuanto más alta sea la intensidad de la luz, más probabilidades habrá de que se produzcan impactos ecológicos, por lo que es esencial mantener una intensidad reducida.

¿Qué es la luz?

La luz es una forma de energía y es un subconjunto del espectro electromagnético que incluye luz visible, microondas, ondas de radio y rayos gamma (Figura 16). En los seres humanos, la luz visible varía de 380 nm a 780 nm, entre las regiones violeta y roja del espectro electromagnético. En los animales, la visibilidad varía de 300 nm a más de 700 nm, según la especie. La luz blanca es una mezcla de todas las longitudes de onda de luz que van desde la luz azul de longitud de onda corta hasta la luz roja de longitud de onda larga.

La percepción de diferentes longitudes de onda como “color” es subjetiva y se describe y caracteriza por cómo percibe el ojo humano la luz, desde el rojo (700 nm), al naranja (630 nm), amarillo (600 nm), verde (550 nm), azul (470 nm), índigo (425 nm) y violeta (400 nm) (Figura 16). Generalmente, no es así como ven los animales la luz (Figura 2). Algo importante es que la luz afecta a la vida silvestre, no solo a través de las vías visuales, sino también a través de fotorreceptores, por ejemplo, del cerebro o glándulas asociadas (Falcón et al., 2020). Esta percepción no visual de la luz actúa directamente sobre los animales a través de vías fisiológicas, tales como el sistema circadiano y otros tipos de ritmos biológicos.

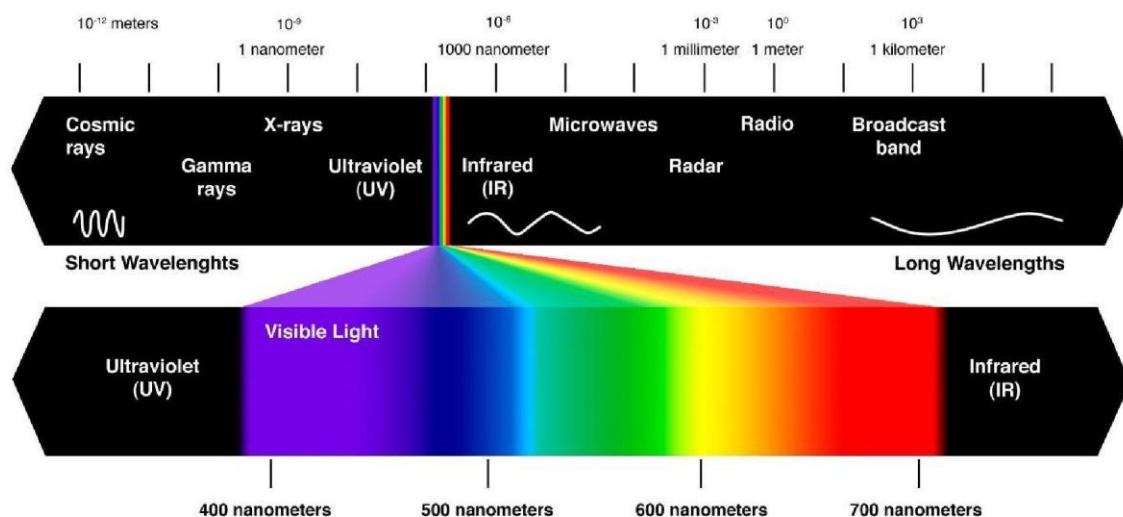


Figura 16 El espectro electromagnético. El “espectro de luz visible” ocurre en el intervalo 380-780 nm y es la parte del espectro que el ojo humano puede ver. Crédito: Mihail Pernichev³⁴. (Iristech, 2018)

Luz artificial

La luz artificial nocturna tiene muchos atributos positivos. Puede mejorar la seguridad humana y proporcionar períodos más prolongados de trabajo o recreación. Sin embargo, puede producir también efectos perjudiciales. Por ejemplo, puede causar:

- daños fisiológicos a las células de la retina en los ojos de los seres humanos y los animales³⁵ (Algere et al., 2006)
- alteración de los ciclos circadianos en la vegetación, los animales y los humanos^{2,13,36} (West et al., 2010; Bennie et al., 2016; Russart y Nelson, 2018)
- cambios en la orientación, la alimentación o el comportamiento migratorio de los animales^{19,37-39}. (Bird et al., 2004; Salmon, 2006; Pendoley y Kamrowski, 2015a; Warrant et al., 2016).

Los mecanismos biológicos que provocan estos efectos varían. Es necesario comprender algo de la teoría y el lenguaje básicos relativos a la luz para poder evaluar y administrar los efectos de la luz en la fauna silvestre. En esta sección se describen brevemente algunos principios básicos.

La visión en los animales

La visión es un elemento fundamental para que los animales silvestres se orienten en su propio entorno, busquen comida, eviten a sus depredadores y se comuniquen⁷ (Rich y Longcore, 2006). Los seres humanos y los animales silvestres perciben la luz de manera diferente. Algunos animales no ven en absoluto la luz roja de longitud de onda larga, mientras que otros ven la luz más allá del extremo azul-violeta del espectro y en el ultravioleta (Figura 17).

Tanto los seres humanos como los animales detectan la luz mediante las células fotorreceptoras del ojo llamadas conos y bastones. La diferenciación de color se produce en condiciones de luz brillante (luz del día). Esto se debe a que la luz brillante activa los conos y son los conos los que permiten que el ojo vea el color. Este fenómeno se conoce como visión fotópica.

En condiciones de poca luz (visión adaptada a la oscuridad), son las células del ojo llamadas bastones las que detectan la luz. Los bastones solo perciben la luz en tonos de gris (sin color). Esto se conoce como visión escotópica y es más sensible a longitudes de onda de luz más cortas (azul/violeta) que la visión fotópica.

La diferencia del número y los tipos de células de la retina significa que los animales y los seres humanos no perciben la misma gama de colores. En los animales, ser "sensibles" a la luz en una gama específica de longitudes de onda significa que pueden percibir la luz en esa longitud de onda, y es probable que respondan a esa fuente de luz.

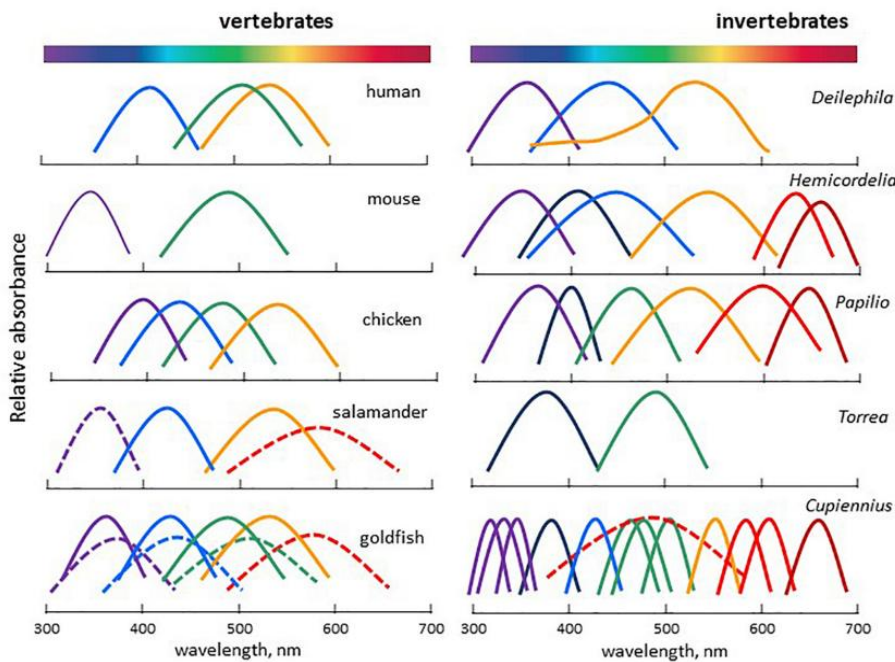


Figura 17. La capacidad de percibir diferentes longitudes de onda de luz en los seres humanos y los animales silvestres se muestra mediante las líneas horizontales. Los puntos negros representan los niveles máximos de sensibilidad notificados. Obsérvese la sensibilidad común a la luz de longitud de onda corta en toda la fauna silvestre. Figura adaptada de Campos (2017)⁸.

Sensibilidad a la luz azul

La sensibilidad a la luz ultravioleta/violeta/azul de alta energía y longitud de onda corta es común en la fauna silvestre (Figura 17). Esta luz se detecta fuertemente en la visión escotópica (adaptada a la oscuridad), particularmente en especies nocturnas. La luz de longitud de onda corta en el extremo azul del espectro tiene mayor energía que la luz de longitud de onda más larga en el extremo rojo del espectro. Esto es importante para comprender el efecto físico dañino que produce la luz ultravioleta/azul de alta energía y longitud de onda corta en las células fotorreceptoras del ojo humano⁴⁰ (Tosini et al., 2016). Aunque no está bien descrito respecto de la fauna silvestre, no es absurdo considerar que a altas intensidades la luz azul tenga el potencial de dañar las células fotorreceptoras en la fauna silvestre.

Además del potencial de daño físico al ojo por la exposición a la luz azul (400 - 490 nm), hay pruebas crecientes de que la exposición a estas longitudes de onda durante la noche puede afectar a las funciones fisiológicas humanas y de la fauna silvestre. Esto se debe a que recientemente se ha identificado un tercer tipo de célula fotorreceptora en la retina del ojo de los mamíferos: las células ganglionares fotosensibles de la retina (pRGC por sus siglas en inglés). Las pRGC no participan en la visión de formación de imágenes (cosa que ocurre en los bastones y conos), sino que participan en la regulación de la melatonina y en la sincronización de los ritmos circadianos con el ciclo de

luz/oscuridad de 24 horas en los animales⁴¹ (Ecker et al., 2010). Estas células son particularmente sensibles a la luz azul⁴² (Berson, 2007). En los vertebrados no mamíferos, la luz también se percibe en diversas partes del cerebro y, en particular, en las glándulas pineal y parapineal, que son los principales lugares de secreción de la hormona melatonina (Grubisic et al., 2019; Falcón et al., 2020). La melatonina es una hormona que se encuentra en las plantas, los animales y los microbios. Las alteraciones en la producción de melatonina pueden afectar a los comportamientos diarios como el despertar de las aves⁴³ (de Jong et al., 2015), el comportamiento de búsqueda e ingestión de los alimentos⁴⁴ (Angers et al., 2003) y las señales estacionales, tales como el momento de la reproducción en los animales, lo que hace que nazcan descendientes en condiciones ambientales no óptimas⁵ (Robert et al., 2015).

Factores que afectan a la percepción de la luz

Entre los factores que afectan a la forma en que la fauna silvestre percibe la luz se incluyen: el tipo de células que se emplean para detectar la luz (visión fotópica o visión escotópica); si la luz se ve directamente de la fuente o como luz reflejada; en qué forma interactúa la luz con el medio ambiente; y la distancia desde la fuente de luz. Estos factores se analizan a continuación.

Perspectiva

La comprensión de la percepción de la luz por un animal comprende la consideración del campo visual del animal. Por ejemplo, al volar, las aves generalmente miran hacia abajo a las fuentes de luz artificial, mientras que las tortugas en una playa de anidación mirarán hacia arriba. Además, el campo visual de algunas aves se extiende hasta casi detrás de su cabeza.

Luz brillante o luz tenue

Comprender la visión fotópica y escotópica es importante para seleccionar el color (longitud de onda) y la intensidad de luz. En los animales, la visión escotópica (adaptada a la oscuridad) permite la detección de la luz a muy bajas intensidades (Figura 18). Esta adaptación a la oscuridad puede explicar por qué la fauna silvestre nocturna es sumamente sensible a las luces blanca y azul incluso a bajas intensidades.

Directa frente a reflejada

Comprender la diferencia entre la luz directa de la fuente (luminancia) y la cantidad de luz incidente que ilumina una superficie (iluminancia) es importante al seleccionar métodos para medir y hacer un seguimiento de la luz. Los equipos utilizados para medir la iluminancia y la luminancia no son intercambiables y darán lugar a conclusiones erróneas si se utilizan incorrectamente.

La luminancia describe la luz que se emite, atraviesa o refleja una superficie que es detectada por el ojo humano. La cantidad total de luz emitida por una luz se llama flujo luminoso y representa la luz emitida en todas las direcciones (Figura 19). La luminancia se cuantifica utilizando un espectrorradiómetro o un medidor de luminancia.

La iluminancia mide la cantidad de luz incidente (o intensidad luminosa) que ilumina una superficie. La iluminancia se cuantifica utilizando un espectrofotómetro de iluminancia o un medidor de lux.

La cantidad total de luz emitida por una bombilla se mide en lúmenes y es diferente a los vatios, que son una medida de la cantidad de energía consumida por la bombilla. Los lúmenes, no los vatios, proporcionan información sobre el resplandor de una bombilla.

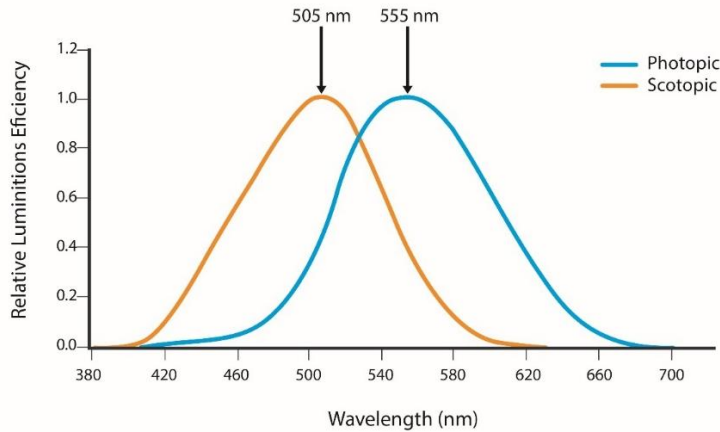


Figura 18 Funciones de luminancia escotópica y fotópica en humanos. Fuente de los datos: [Funciones de luminancia](#).

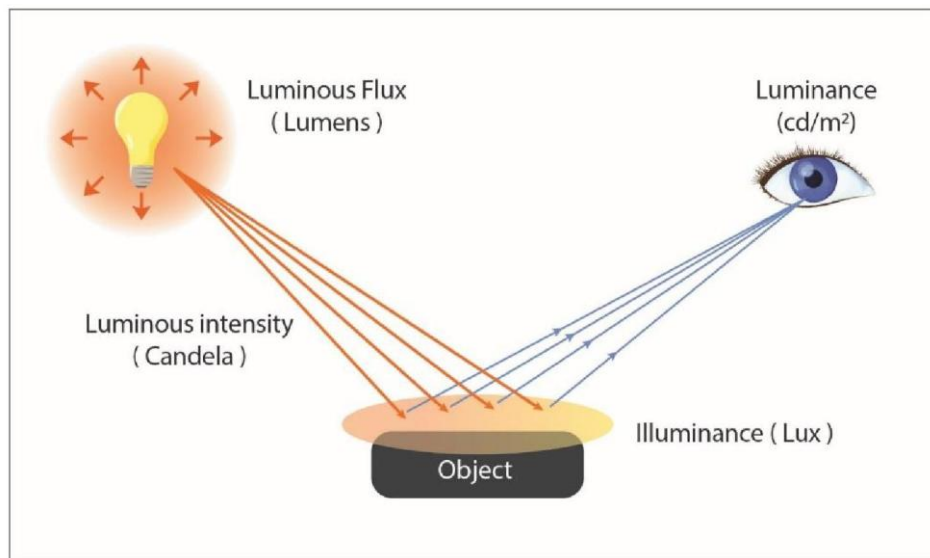


Figura 19 Flujo luminoso, luminancia e iluminancia.

Visibilidad de la luz en el medio ambiente.

Las propiedades físicas de la luz comprenden la reflexión, la refracción, la dispersión, la difracción y la dispersión. Estas propiedades se ven afectadas por la atmósfera a través de la cual viaja la luz. La luz violeta y azul de longitud de onda corta se dispersa en la atmósfera más que la luz de longitud de onda más larga, como la verde y la roja, debido a un efecto conocido como dispersión de Rayleigh⁴⁵ (Benenson et al., 2006).

La dispersión de la luz por el polvo, la sal y otros aerosoles atmosféricos aumenta la visibilidad de la luz como resplandor del cielo, mientras que la presencia de nubes que reflejan la luz de regreso a la tierra puede iluminar sustancialmente el paisaje⁴⁶ (Kyba et al., 2011). Por lo tanto, el grado de resplandor del cielo es una función de la concentración de aerosoles y la altura y el espesor de las nubes.

Luz directa frente al resplandor del cielo

La luz puede aparecer como una fuente de luz directa de una lámpara no apantallada, con línea de visión directa para el observador, o como resplandor del cielo (Figura 20). El resplandor del cielo es el resplandor difuso causado por la fuente de luz que se oculta a la vista, pero a través de la reflexión y la refracción, la luz crea un resplandor en la atmósfera. El resplandor del cielo se ve afectado por la capa de nubes y otras partículas presentes en el aire. La luz azul se dispersa en la atmósfera más que la luz de color amarillo-naranja. Las nubes reflejan bien la luz y aumentan el resplandor del cielo.

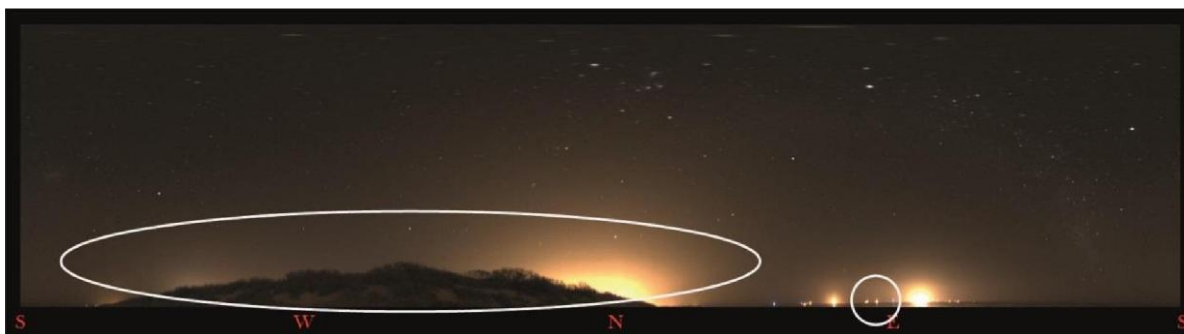


Figura 20 Resplandor del cielo creado por luces protegidas por una pantalla de vegetación (en el círculo a la izquierda) y fuentes puntuales de luz directamente visibles (en el círculo a la derecha).

Distancia de la fuente de luz

Las propiedades físicas de la luz siguen la ley del cuadrado inverso, lo que significa que la visibilidad de la luz, en función de su intensidad y extensión espacial, disminuye con la distancia de la fuente (Figura 21). Este es un factor importante que se ha de tener en cuenta al modelar la luz o evaluar los efectos de la luz en diferentes escalas espaciales, por ejemplo, a través de escalas de paisaje en comparación con la considerada en el interior del perímetro de desarrollo.

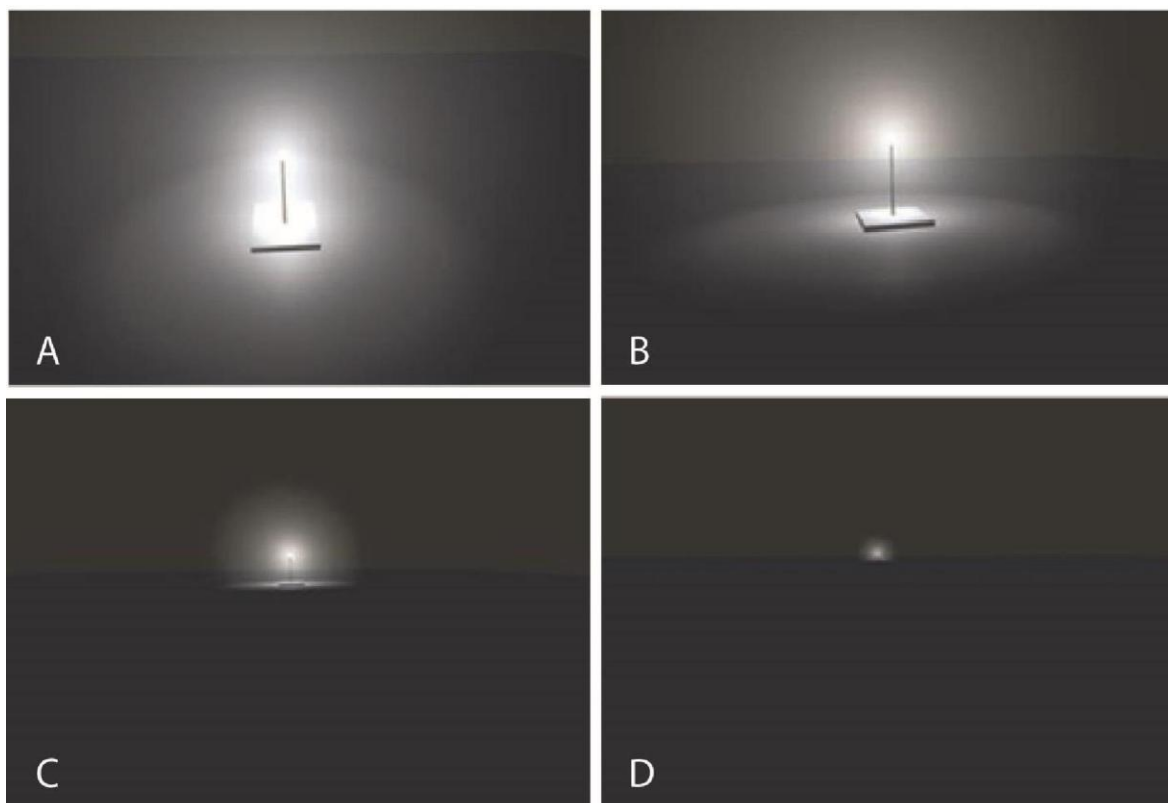


Figura 21 Cambios modelados en la visibilidad de una luz LED blanca de 1000 W sin apantallamiento visto desde A. 10 m; B. 100 m; C. 1 km y D 3 km.

Medición de la luz

La luz se ha medido tradicionalmente en forma fotométrica o mediante mediciones ponderadas según la sensibilidad del ojo humano (pico de 555 nm). La luz fotométrica está representada por el área comprendida bajo la curva de (CIE), pero esta área no incluye toda la radiación visible para la fauna silvestre (Figura 22) [CIE/ISO 23539 Photometry – The CIE System of Physical Photometry](#)).

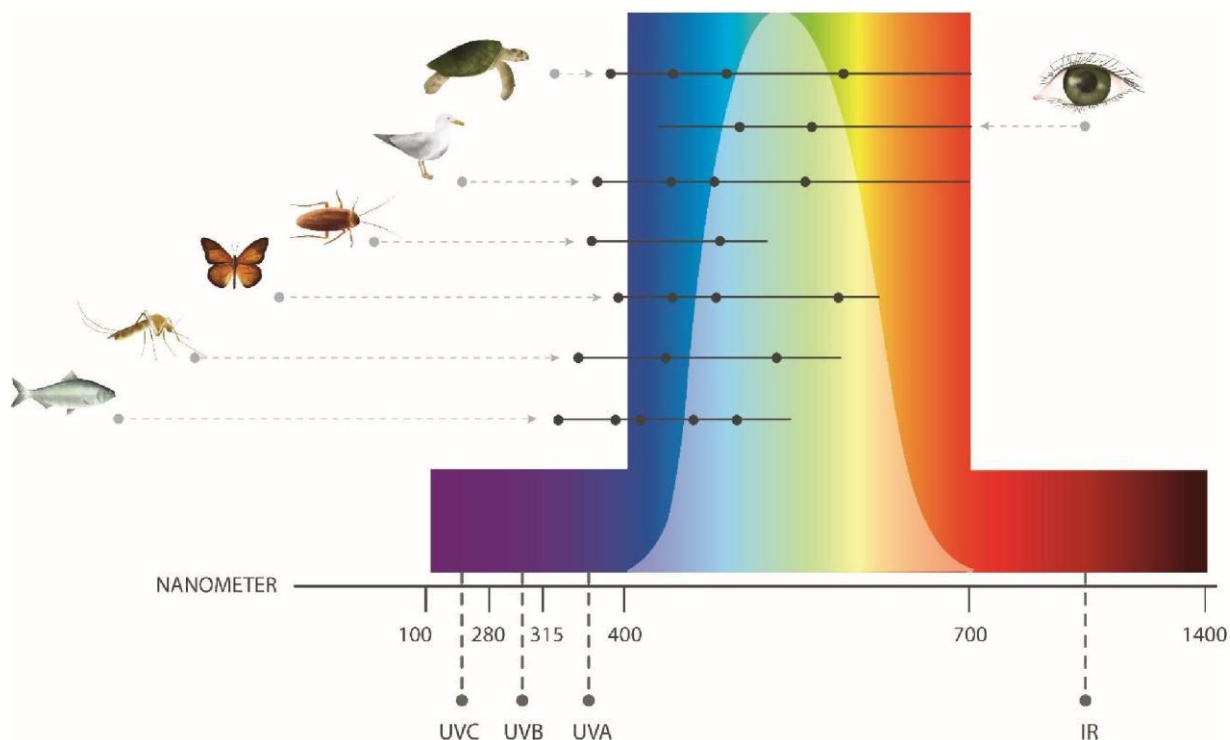


Figura 22 Luz fotométrica representada por el área comprendida bajo la curva CIE (área clara) en comparación con la capacidad de percibir diferentes longitudes de onda (líneas negras) y la sensibilidad máxima notificada (puntos negros) en los seres humanos y la fauna silvestre. Téngase en cuenta que el área bajo la curva CIE no incluye gran parte de la luz violeta y ultravioleta visible para muchos animales. Figura adaptada de Campos (2017)⁸.

La luz se puede medir también radiométricamente. Las mediciones radiométricas detectan y cuantifican todas las longitudes de onda desde la ultravioleta (UV) al infrarrojo (IR). Se mide la energía total en cada longitud de onda. Esta es una medida biológicamente relevante para comprender la percepción de la luz en la fauna silvestre. La terminología, como las expresiones flujo radiante, intensidad radiante, irradiancia o resplandor, se refieren a la medición de la luz en todas las longitudes de onda del espectro electromagnético.

Comprender la diferencia entre fotometría (ponderada según la sensibilidad del ojo humano) y radiometría (que mide todas las longitudes de onda) es importante al medir la luz, ya que muchos animales son muy sensibles a la luz en las regiones azul y roja del espectro y, a diferencia de la fotometría, el estudio de la radiometría incluye también estas longitudes de onda.

Las medidas fotométricas (como la iluminancia y la luminancia) se pueden utilizar para examinar los posibles efectos de la luz artificial en la fauna silvestre, pero deberán reconocerse y tenerse en cuenta sus limitaciones, ya que en estas medidas no se ponderan quizás correctamente las longitudes de onda azul y roja a las que los animales pueden ser sensibles.

Curva espectral

La luz blanca está formada por longitudes de onda de luz de todo el espectro visible. Una curva de potencia espectral (Figura 23) ofrece una representación de la presencia relativa de cada longitud de onda emitida por una fuente de luz. En un diseño de iluminación deberán incluirse curvas de distribución de energía espectral para todos los tipos de iluminación planificados, ya que de este modo se proporcionará información sobre la cantidad relativa de luz emitida en las longitudes de onda a las que la fauna silvestre es más susceptible.

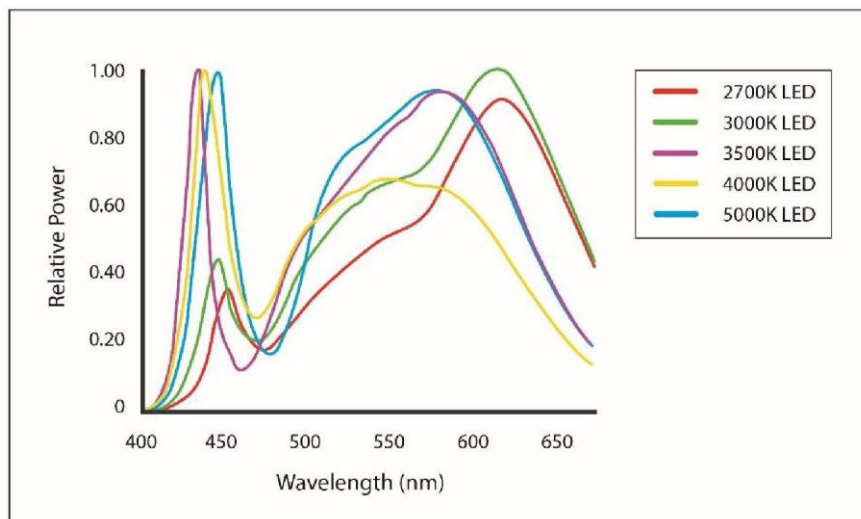


Figura 23 Curvas espectrales que muestran el contenido de azul de la luz blanca 2700-5000 K Luces LED. Obsérvese la diferencia de potencia relativa del azul en la longitud de onda del intervalo (400 - 500 nm). Figura cortesía de Ian Ashdown.

Diodos emisores de luz (LED)

Los diodos emisores de luz se están convirtiendo rápidamente en el tipo de luz más común a nivel mundial, por ser más eficientes energéticamente que la anterior tecnología de iluminación. Se pueden controlar de forma inteligente, son altamente adaptables en términos de longitud de onda e intensidad, y se pueden encender y apagar instantáneamente.

Entre las características de las luces LED que no se encuentran en tipos de lámparas más antiguos, pero que deberán tenerse en cuenta al evaluar los efectos de las luces LED en la fauna silvestre, cabe incluir las siguientes:

- Con pocas excepciones, todas las luces LED contienen longitudes de onda azules (Figura 23 y Figura 24).
- El vataje de una luz LED es una medida de la energía eléctrica necesaria para producir luz y no es una medida de la cantidad o intensidad de luz que producirá la lámpara.
- La intensidad de luz producida por todas las lámparas, incluidas las luces LED, se mide en lúmenes (lm).
- Las lámparas LED requieren menos energía para producir una cantidad equivalente de luz. Por ejemplo, una producción de luz de 600 lm requiere 40 vatios de energía para una bombilla incandescente y en el año 2020 solo 10 vatios de energía para una lámpara LED. En 2023, menos de 5 vatios es la potencia de entrada para alcanzar una salida de 600 lm.

Otro aspecto a considerar es que una bombilla incandescente de 100 W producirá la misma cantidad de luz que una luz LED de 20 W producida con menos de 10 W de ledes. En consecuencia, es importante no sustituir una lámpara de estilo antiguo con un LED de vataje equivalente, sino comparar la salida de lúmenes de la luminaria.

- Diferentes luces LED con la misma temperatura de color correlacionada (CCT) pueden tener un contenido de azul muy diferente (Figura 24), pero para el ojo humano pueden parecer de un color similar. Según aumenta la temperatura de color de una luz LED blanca, puede aumentar también el contenido de azul (Figura 23). Poco o nada de este aumento de la longitud de onda de la luz azul se mide con equipo fotométrico (que sirve para medir lux, la luminancia, la iluminancia, así como la calidad luminosa del cielo; véase [Medición de la luz biológicamente relevante](#)).

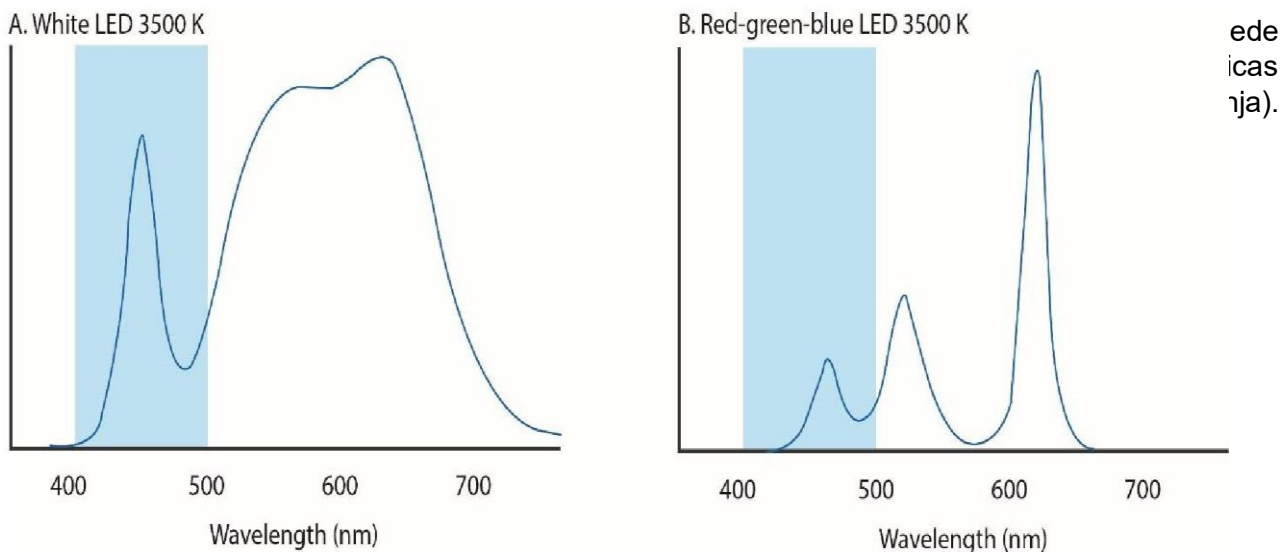


Figura 24 Una comparación del contenido espectral de longitud de onda azul de dos luces LED con la misma CCT (3500 K). La banda azul muestra la región azul del espectro visible (400-500 nm). La luz en A tiene un contenido de luz azul mucho mayor que en B, pero los dos parecen tener el mismo color para el ojo humano. Para los animales con diferentes sensibilidades a la longitud de onda de la luz con respecto a los seres humanos, pueden parecer muy diferentes. Figura cortesía de Ian Ashdown.

Temperatura de color correlacionada (CCT)

Esta medida describe la apariencia de color de una LED blanca para los humanos. Se expresa en grados Kelvin, utilizando el símbolo K, que es una unidad de medida para la temperatura absoluta. En la práctica, la temperatura de color se utiliza para describir el color de la luz y la "calidez" percibida; las lámparas que tienen un color amarillento cálido tienen temperaturas de color bajas entre 1000 K y 3000 K, mientras que las lámparas caracterizadas por un color azulado frío tienen una temperatura de color, o CCT, superior a 5000 K (Figura 25). Las longitudes de onda pueden variar considerablemente dentro de la misma temperatura de color correlacionada. Si bien suelen recomendarse temperaturas de color correlacionadas bajas, estas no cumplirán necesariamente los requisitos humanos ni mitigarán todos los impactos. Es importante tener en cuenta la vida silvestre afectada y el objetivo de la iluminación.

La temperatura de color correlacionada no proporciona información sobre el contenido de azul de una lámpara. Todas las luces LED contienen luz azul (Figura 23) y el contenido de azul generalmente aumenta con el aumento de la CCT. La única forma de determinar si el contenido espectral de una fuente de luz es apropiado para su uso cerca de la fauna silvestre

sensible es examinar la curva espectral. Para la fauna silvestre sensible a la luz azul, se deberá elegir una luz LED con poca o ninguna luz de longitud de onda corta, mientras que para los animales sensibles a la luz amarilla⁹ (Reed, 1986) deberán utilizarse luces LED con poca o ninguna luz en el punto de sensibilidad máxima⁴⁷ (Longcore et al., 2018).

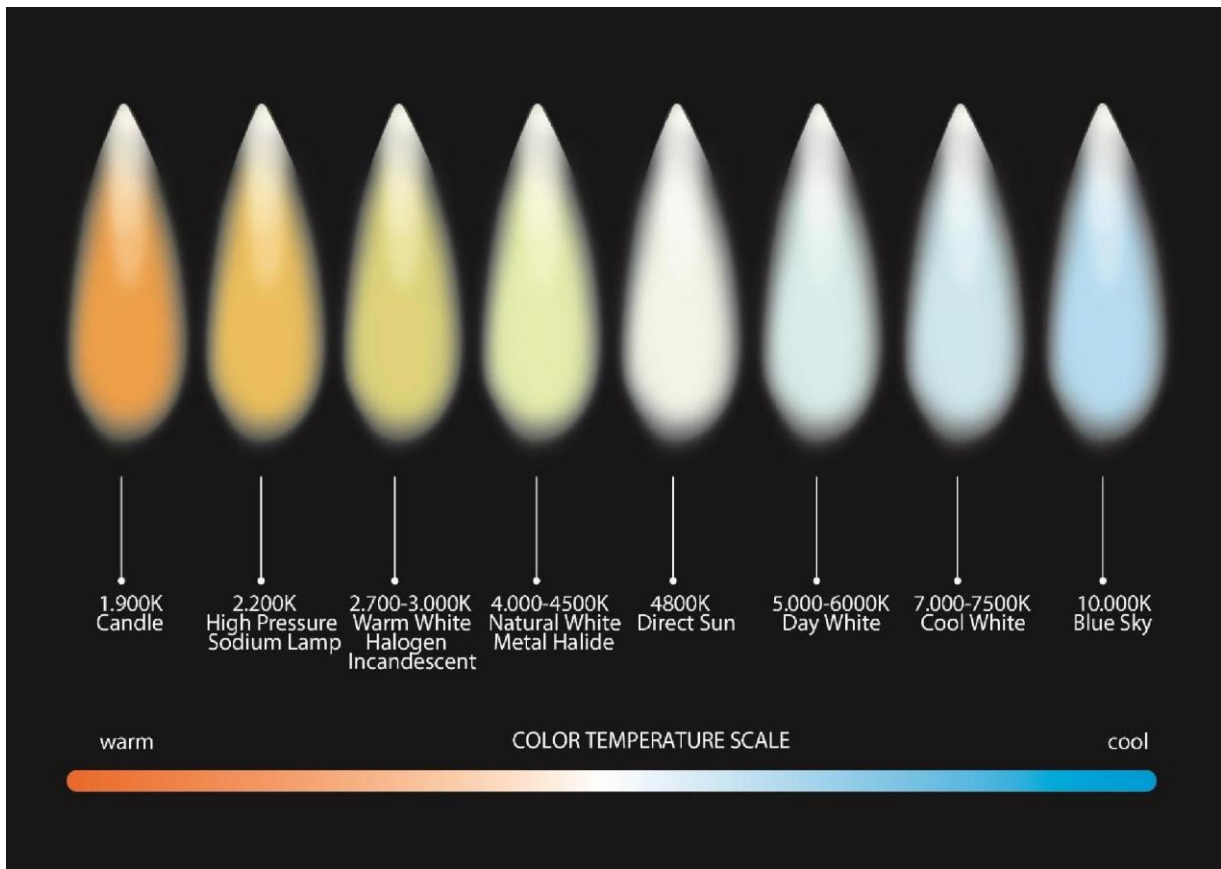


Figura 25 Gama de temperatura de color correlacionada (CCT) de cálida 1,000 K a fría 10,000 K.

Apéndice C: Medición de la luz biológicamente relevante

Los animales y los seres humanos perciben la luz de manera diferente. Los instrumentos comerciales de seguimiento de la luz actualmente centran la atención en medir la región del espectro más visible para los seres humanos. Es importante reconocer y tener en cuenta este hecho al hacer el seguimiento de la luz con el propósito de evaluar su impacto en la fauna silvestre.

Los programas comerciales de creación de modelos de iluminación suelen centrarse también en la luz más visible para los seres humanos, cosa que también deberá reconocerse y tenerse en cuenta en la evaluación de los efectos de la luz artificial en la fauna silvestre.

Dado que las diversas especies poseen distintas sensibilidades espectrales hacia la luz, no existe una norma general para determinar una cantidad de lux para la iluminancia como se hace con los humanos. Para la vida silvestre se recomienda que se efectúen mediciones espectrales de irradiancia en un rango más amplio de longitudes de onda. Este rango debería empezar en unos 300 nm, en la UV, y ampliarse hasta los infrarrojos a unos 1000 nm.

La información crítica necesaria para examinar los efectos de la luz artificial en la fauna silvestre deberá incluir los aspectos siguientes:

- Extensión espacial del resplandor del cielo
- Orientación e intensidad de las fuentes de luz a lo largo del horizonte.
- Visibilidad de la luz (directa y resplandor del cielo) desde los hábitats de la fauna silvestre
- Distribución espectral de las fuentes de luz.

Descripción del entorno de luz

Al describir el entorno de luz, se deberá tener en cuenta la forma en que probablemente la fauna silvestre percibirá la luz artificial. Las mediciones de la luz deberán obtenerse en un hábitat importante y desde una perspectiva biológicamente relevante (es decir, cerca del suelo/desde el cielo/bajo el agua). Deberá tenerse en cuenta también la elevación desde el horizonte, la extensión espacial del resplandor del cielo y la distribución de la longitud de onda (espectro) de la luz presente.

Es importante que las mediciones de luz se tomen en los momentos adecuados. Tales momentos pueden incluir los momentos biológicamente relevantes (p. ej., cuando la fauna silvestre está utilizando el área). Las mediciones de referencia deberán tomarse cuando la luna no esté en el cielo y cuando el cielo esté despejado y en ausencia de iluminación temporal (p. ej., obras en la carretera). Las condiciones deberán replicarse lo más fielmente posible para las mediciones antes y después.

Medición de la luz para la fauna silvestre

La medición de la luz para evaluar sus efectos en la fauna silvestre representa un desafío y constituye un sector emergente de investigación y aplicación. La mayor parte de los instrumentos utilizados para medir el resplandor del cielo se encuentran todavía en fase de investigación, con solo unos pocos instrumentos comerciales disponibles. Además, la amplia variedad de sistemas y unidades de medición que se utilizan a nivel mundial hace difícil la elección de una métrica de medición adecuada y, a menudo, no es posible comparar los resultados entre diversas técnicas, debido a las variaciones en cuanto a la forma de medir la luz. Actualmente no existe un método estándar reconocido a nivel mundial para el seguimiento de la luz en relación con la fauna silvestre.

Técnicas de medición radiométrica frente a la fotométrica

Los instrumentos radiométricos detectan y cuantifican la luz por igual en todo el espectro (véase el capítulo [Medición de la luz](#)) y son los instrumentos más apropiados para hacer el seguimiento y medir la luz para la gestión de la fauna silvestre. No obstante, si bien las técnicas para medir la luz radiométrica están bien desarrolladas en el ámbito de la física, la astronomía y la medicina, están menos desarrolladas por lo que respecta a la medición de la luz en el medio ambiente. Los instrumentos que se están creando actualmente son en gran parte el resultado de las actividades de investigación y aplicación académicas y/o comerciales, son costosos y requieren capacidades técnicas especializadas para el funcionamiento, el análisis de datos, la interpretación y el mantenimiento de equipos.

La mayor parte de los instrumentos comerciales y de investigación cuantifican la luz fotométrica, que se pondera con arreglo a la sensibilidad del ojo humano, según la curva de función de luminosidad CIE descrita en el capítulo [Medición de la luz](#). Debido a que muchos fotómetros se modifican con filtros para imitar la visión humana, no representan con precisión lo que en realidad verá un animal con elevada sensibilidad a las regiones de azul (400 - 500 nm) o de rojo (650 - 700 nm) del espectro (Figura 22). En estos casos, deberá tenerse en cuenta la sensibilidad a esta luz adicional al notificar los resultados.

Cuando se utilizan instrumentos fotométricos para el seguimiento de la luz, deberá reconocerse y tenerse en cuenta esta insensibilidad a las regiones del espectro de longitud de onda corta y larga en la evaluación de los efectos. La información sobre la distribución de la potencia espectral de las luces comerciales puede obtenerse fácilmente de los fabricantes y proveedores y deberá utilizarse para documentar cualquier programa de evaluación o seguimiento del impacto de la luz artificial. En la Figura 26 se muestra un ejemplo de las curvas de distribución de la potencia espectral de varias fuentes de luz, junto con una superposición de la curva CIE que representa la luz que se mide con todo tipo de instrumentos fotométricos comerciales.

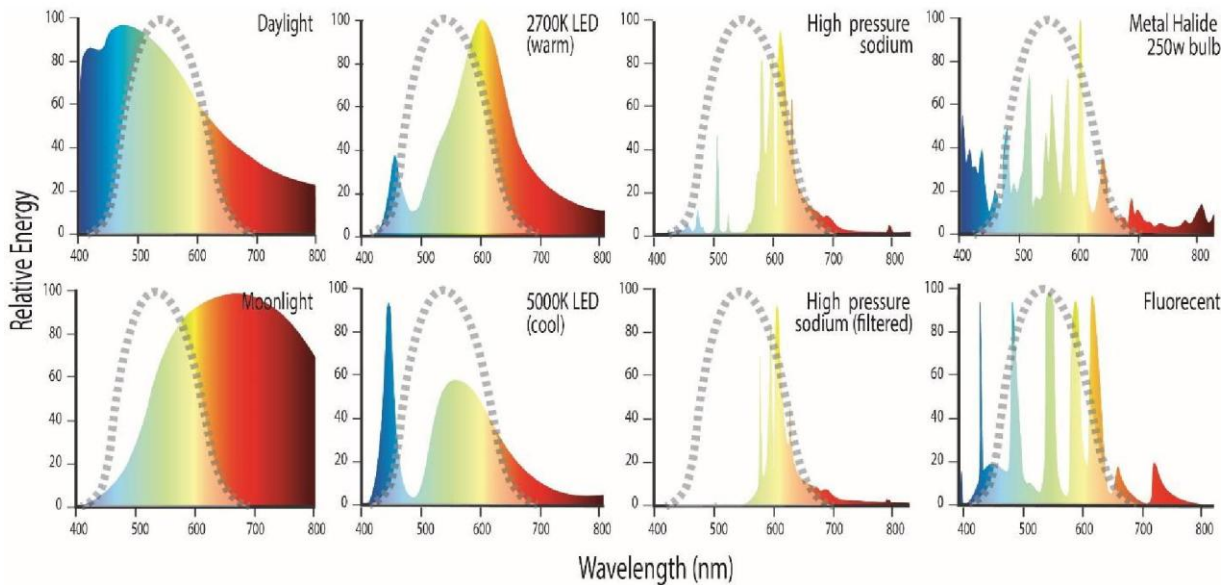


Figura 26 Los instrumentos fotométricos solo cuantifican la luz que se encuentra dentro de la curva CIE (área contenida por debajo de la línea discontinua gris). Se trata de una figura comparativa de curvas espectrales de una variedad de diferentes fuentes de luz.

Reconociendo que los instrumentos de seguimiento de la luz en relación con la fauna silvestre se encuentran en fase de desarrollo y que se carece de métodos y unidades de medida acordados, los programas de seguimiento deberán mirar a medir longitudes de onda cortas y largas relevantes (si es posible). Los métodos de medición deberán describirse claramente, indicando la región del espectro medida y, cuando no se mida esta, indicando cómo se contabilizan las regiones de longitud de onda corta y larga. Los métodos utilizados para ello pueden incluir una evaluación visual del color de la luz en el cielo partiendo de la observación directa o de imágenes, donde el resplandor naranja se asocia típicamente con luces ricas en longitud de onda larga (sodio de alta presión (HPS); sodio de baja presión (LPS), LED de ámbar PC o LED ámbar), y el resplandor blanco se asocia con fuentes de luz blanca ricas de luz azul de longitud de onda corta (luces LED blancas, halógenas, fluorescentes, halogenuros metálicos, etc.).

Como alternativa, se pueden utilizar instrumentos fotométricos en condiciones en las que la mayor parte de las fuentes de luz son las mismas, por ejemplo, alumbrado público o instalaciones industriales. Los resultados del seguimiento se pueden comparar para las mediciones tomadas de los mismos tipos de luz (p. ej., comparando dos fuentes de HPS, desde el punto de vista espacial o temporal), pero no es posible utilizarlos en el contexto del seguimiento en relación con la fauna silvestre para comparar la luz de un HPS y un LED, debido a que tienen diferentes distribuciones de longitud de onda. Esta limitación deberá tenerse en cuenta cuando se utilizan instrumentos fotométricos para medir el resplandor acumulativo del cielo, que puede incluir luz de múltiples fuentes y tipos de luz. Se puede recopilar también información espectral cualitativa detallada sobre los tipos de luz para verificar y confirmar los tipos de luz que contribuyen al resplandor del cielo.

Por lo tanto, el programa de seguimiento de la luz podría incluir la recopilación de una variedad de diferentes características de la luz (p. ej., color, tipo de luz, extensión del área, distribución de la potencia espectral, e intensidad) utilizando diversos instrumentos y técnicas. Deberán establecerse y considerarse claramente estos métodos y técnicas, indicando todas las limitaciones y supuestos al interpretar los resultados. A continuación, se proporciona un examen de diversas técnicas instrumentales utilizadas para el seguimiento de la luz.

Al seleccionar el equipo de medición más apropiado para el seguimiento de los efectos biológicos de la luz en la fauna silvestre, es importante decidir qué parte del cielo se está midiendo: horizonte, cenit (sobre la vertical del observador) o cielo completo. Por ejemplo, las tortugas marinas ven la luz en el horizonte entre 0° y 30° verticalmente e integran a lo largo de 180° horizontalmente⁴⁸ (Lohmann et al., 1997), por lo que es importante incluir la medición de la luz en esta parte del cielo al examinar los efectos en la orientación de las crías en su búsqueda del mar. En cambio, las pardelas juveniles en su primer vuelo ven la luz en tres dimensiones (verticalmente, de abajo y de arriba) mientras ascienden hacia el cielo. Las mediciones del resplandor del cielo (cenit) son importantes cuando el observador está tratando de evitar la contaminación del deslumbramiento por fuentes puntuales de luz bajas en el horizonte. Cuantificar todo el resplandor del cielo es importante cuando se miden los efectos de la cobertura de nubes, que puede reflejar la luz para iluminar toda una playa, un humedal u otro hábitat.

El efecto de la luz en la fauna silvestre es una función de la sensibilidad y respuesta del animal a la luz, y las señales que utiliza durante la orientación, dispersión, búsqueda de alimento, migración, etc. La mayor parte de la fauna silvestre parece responder a la luz de alta intensidad de longitud de onda corta, fuentes puntuales de luz, resplandor del cielo y luz direccional. En consecuencia, la información que probablemente se necesita para el seguimiento de la luz en relación con la fauna silvestre deberá incluir lo siguiente:

- El resplandor de todo el cielo de horizonte a horizonte.
- La orientación, la intensidad y el espectro de luz (fuentes puntuales y resplandor del cielo) en el horizonte. Estos datos dictarán la dirección en la que la fauna silvestre puede desorientarse.
- La extensión espacial del resplandor cerca del horizonte. Probablemente, una gran área de resplandor en el horizonte será más visible y perjudicial para la fauna silvestre que un área de resplandor reducida.
- Presencia o ausencia de nubes. Las nubes reflejan muy bien la luz de fuentes distantes, lo que hace que una fuente situada tierra adentro sea muy visible en la costa, por ejemplo. El resplandor del cielo es una función de la altura, reflectividad y el espesor de las nubes.
- Información cualitativa sobre la luz visible para la fauna silvestre. Una imagen de la contaminación lumínica visible desde el hábitat de la fauna silvestre puede mostrar la extensión espacial de la luz en el cielo y la dirección (ver Figura 20) y, en algunos casos, proporcionar información sobre el tipo de fuente de luz (p. ej., el resplandor anaranjado del cielo será causado por luces de HPS o luces LED ámbar).
- Espectros de emisión (color) de la luz. Es particularmente importante identificar la luz en la región azul ultravioleta del espectro visible (<500 nm), ya que esta es la luz comúnmente visible y perjudicial para la fauna silvestre.
- También es relevante el resplandor máximo bajo el cual una fuente de luz aparece en cualquier lugar del campo de visión. Por ejemplo, la luna llena crea una iluminancia de alrededor de $0,1$ lx únicamente, mientras que su luminancia es de ~ 2000 cd/m². Esto permite que ciertos animales orienten su movimiento hacia la dirección en la que aparece la luna. Las fuentes de luz artificial pueden mostrar unos valores de luminancia considerablemente más brillantes. Al contrario que la iluminancia, la luminancia no disminuye con la distancia, por lo que incluso fuentes de luz más brillantes a distancia pueden tener efectos de atracción sobre la vida silvestre. Mientras que la luminancia se relaciona con la sensibilidad humana, en el

caso de la vida silvestre, la radiancia, medida con la sensibilidad de la especie, es la cualidad más relevante.

Técnicas de medición

Actualmente, no existen métodos generalmente acordados para medir la luz biológicamente relevante para la fauna silvestre o para cuantificar el resplandor del cielo⁴⁹ (Barentine, 2019). Esta carencia se debe a que la mayor parte de los métodos convencionales de medición de la luz son fotométricos y solo cuantifican la luz comprendida bajo la curva CIE que es más relevante para la percepción humana de la luz. Además, no toman en consideración todo el cielo nocturno.

Es necesario elaborar métodos repetibles a precios razonables, fácilmente accesibles y desplegados para el seguimiento de la luz biológicamente relevante que capture todo el campo visual al que la fauna silvestre puede estar expuesta (generalmente de horizonte a horizonte)⁴⁹ (Barentine, 2019). Estos métodos deberán poder cuantificar todas las longitudes de onda de la luz por igual (radiométricas) incluyendo por lo menos el intervalo 380 - 780 nm, o permitir que puedan calibrarse en la gama de longitudes de onda de relevancia para la especie de interés. Los métodos óptimos tendrán una sensibilidad para detectar y medir los cambios en los niveles bajos de luz representados por el resplandor del cielo de la luz artificial y deben tener la capacidad de diferenciar entre fuentes puntuales de luz individuales (en una escala local) y el resplandor del cielo en una escala de paisaje (es decir, a lo largo de decenas de kilómetros).

Cabe señalar que es posible que las mediciones necesarias para evaluar los efectos del resplandor del cielo en la fauna silvestre tengan que ser diferentes de las mediciones necesarias para evaluar la luz con miras a la seguridad humana.

Reconociendo que se espera que las técnicas para el seguimiento de la luz biológicamente significativa se desarrollen y mejoren continuamente, en esta sección se resume el estado de la ciencia a partir de 2020 como un ejemplo de las técnicas actuales.

Se prevé que con el tiempo se elaborarán métodos avanzados idóneos los que satisfarán los objetivos de observar la luz biológicamente significativa y allí donde ocurra, para los objetivos del seguimiento biológico de la luz significativa y, cuando eso ocurra, deberán indicarse claramente los métodos y técnicas, así como todas las limitaciones y supuestos, en todos los programas de seguimiento de la luz.

En estudios recientes se han examinado diversas técnicas instrumentales comerciales y experimentales utilizadas en todo el mundo para cuantificar el resplandor del cielo^{49,50} (Hänel et al., 2018; Barentine 2019). En dichos estudios se evaluaron los beneficios y las limitaciones de las diversas técnicas y se formularon recomendaciones para medir la contaminación lumínica. A continuación, se analizan algunos de estos instrumentos, junto con sus beneficios y limitaciones, y se resumen en el Cuadro 1.

La luz se puede medir de diferentes formas, según el objetivo, la escala del paisaje y el punto de vista, y comprenden:

- la teledetección
- los Instrumentos unidimensionales (de un solo canal)
- instrumentos multicanal
- la espectroscopia/espectroradiometría.

Teledetección

Es posible mapear el resplandor ascendente de la luz artificial durante la noche mediante teledetección utilizando imágenes satelitales o aéreas y sensores ópticos. Esta información se ha utilizado como indicador socioeconómico para observar la actividad humana y, cada vez más, como instrumento para examinar los efectos de la luz artificial en los ecosistemas⁵¹ (Levin et al., 2020). Se indican a continuación algunos ejemplos:

- [El Nuevo Atlas mundial del resplandor artificial del cielo nocturno Night Sky Brightness](#)
- [Mapa de contaminación lumínica](#)

Beneficios: las imágenes son útiles como indicadores de contaminación lumínica a gran escala y para focalizar programas de seguimiento biológico y lumínico. Esta técnica puede ser un buen punto de partida para identificar áreas posiblemente problemáticas para la fauna silvestre a escala regional. Las imágenes recogidas mediante drones o aviones pueden ser útiles para examinar los efectos de la luz artificial en las migraciones de aves y murciélagos.

Limitaciones: los mapas derivados de la información recogida por satélite tienen un valor limitado para cuantificar la luz en relación con la fauna silvestre. Las imágenes son una medida de la luz después que ha atravesado la atmósfera y ha estado sometida a dispersión y absorción. No brindan una representación precisa de la luz visible para la fauna silvestre a nivel del suelo. Las imágenes compuestas anuales están constituidas de imágenes recogidas en diferentes condiciones atmosféricas y, por lo tanto, no pueden utilizarse para cuantificar la luz con seguridad en distintos años o entre ellos. El instrumento más comúnmente utilizado (VIIRS DNB) no es sensible a la luz azul, por lo que la luz en esta parte del espectro está submuestreada. Se espera que, según se vayan lanzando satélites con sensores más avanzados, mejore el valor de esta técnica para el seguimiento biológico de la luz.

Aplicación a programas de seguimiento de la fauna silvestre: si bien los instrumentos de teledetección pueden proporcionar un buen punto de partida para determinar los tipos de luz

artificial problemáticos para la fauna silvestre a escala regional, actualmente no representan un enfoque apropiado para medir la luz como parte de un programa de seguimiento de la fauna silvestre, ya que no cuantifican con precisión la luz observada desde el suelo, subestiman el contenido de azul de la luz y los resultados no son repetibles, debido a las condiciones ambientales. Las imágenes recolectadas por aviones o drones pueden tener aplicación para el seguimiento de los efectos en la fauna silvestre aérea.

Instrumentos unidimensionales (de un solo canal)

Estos instrumentos miden el resplandor del cielo utilizando un detector de un solo canal, produciendo un valor numérico para representar el resplandor del cielo, típicamente en el cenit. Por lo general, son portátiles y fáciles de utilizar. Miden el resplandor del cielo, pero no pueden derivar información de fuentes puntuales a no ser que se encuentren lo suficientemente cerca como para que la mayor parte de la luz detectada se emita desde esas fuentes. A continuación, se analizan ejemplos de instrumentos de un solo canal.

Medidor de la calidad del cielo (SQM por sus siglas en inglés)

Es un pequeño aparato de mano que cuantifica la luz en un área del cielo (normalmente directamente en el cenit). Los primeros modelos tenían un campo de visión de alrededor de 135° y el modelo SQM-L más reciente tiene un campo de visión más estrecho, de 40° de diámetro. Mide

la luz fotométrica en unidades de magnitudes/arcsec² en límites de detección relativamente bajos (es decir, puede medir el resplandor del cielo). Según los informes, la precisión del instrumento se establece en $\pm 10\%$, aunque en un estudio de calibración en un grupo de instrumentos SQM realizado en 2011 se observaron errores que varían de -16% a $+20\%$ ⁵² (den Outer et al., 2011). No se ha determinado la estabilidad a largo plazo de los SQM.

En los estudios se sugiere que se descarten las primeras 3-4 mediciones de un SQM de mano, se tome nota luego del promedio de cuatro observaciones realizadas girando el SQM 20° después de cada observación, para obtener un valor de cuatro direcciones diferentes de la brújula, a fin de reducir al mínimo o identificar los efectos de la luz dispersa⁵⁰ (Hänel et al., 2018). Si las mediciones varían en más de $0,2 \text{ mag/arcsec}^2$, deberán descartarse los datos y se deberá seleccionar un nuevo lugar para las mediciones. No se deberán recopilar datos en las noches de luna llena para evitar que la luz extraña contamine los resultados.

Beneficios: el SQM es poco costoso, fácil de utilizar y portátil. Algunas versiones tienen capacidades de registro de datos que permiten el funcionamiento autónomo sobre el terreno. La sensibilidad del SQM es suficiente para detectar cambios en la iluminación artificial aérea nocturna en un cielo despejado.

Limitaciones: los SQM no pueden utilizarse para resolver fuentes de luz individuales distantes, ni para determinar la dirección de la luz, ni para medir la luz visible para muchas especies de fauna silvestre. La precisión y exactitud del instrumento pueden variar sustancialmente y se recomienda un estudio de intercalibración para cuantificar el error de cada instrumento. Aunque el SQM está diseñado para obtener respuestas fotópicas, generalmente es más sensible a longitudes de onda más cortas (es decir, del azul) que una respuesta verdaderamente fotópica, pero ello dependerá del instrumento que se utilice. No es muy sensible a longitudes de onda más largas (naranja/rojo)⁵⁰ (Hänel et al., 2018). El SQM no deberá utilizarse para medir la luz dentro de los 20° del horizonte, ya que el detector está diseñado para medir un cielo homogéneo (como ocurre en el cenit) y no produce datos válidos cuando se orienta a un campo de visión heterogéneo como el que se observa en el horizonte.

Aplicación a programas de seguimiento de la fauna silvestre: se puede utilizar un medidor de la calidad del cielo para medir el resplandor del cielo directamente sobre la cabeza (cenit) en el hábitat de la fauna silvestre, pero es importante reconocer sus limitaciones (tales como la ausencia de toda la información del cielo y la incapacidad de medir fuentes puntuales de luz en el horizonte) y aplicar los métodos recomendados por Hänel et al (2018)⁵⁰ para asegurar la repetibilidad.

Medidor de cielo oscuro

Es una aplicación para iPhone que utiliza la cámara del teléfono para captar la luz y generar un valor de resplandor del cielo.

Beneficios: es poco costoso y fácil de utilizar.

Limitaciones: el medidor de cielo oscuro es un instrumento fotométrico. Se dispone exclusivamente en los iPhone de Apple. No funcionará en modelos anteriores al 4S y no se puede utilizar para resolver luces individuales o determinar la dirección de la luz. Es relativamente impreciso e inexacto⁵⁰ y no puede medir de manera fiable la luz en el horizonte (Hänel et al., 2018).

Aplicación a programas de seguimiento de la fauna silvestre: la aplicación del medidor de cielo oscuro no es un instrumento adecuado para el seguimiento de los efectos de la luz en la fauna silvestre, ya que no mide la luz biológicamente relevante. No proporciona la información relativa a toda la extensión del cielo, ni puede resolver fuentes de luz individuales y es relativamente

impreciso e inexacto. El medidor de cielo oscuro deberá considerarse más bien un instrumento formativo que un instrumento científico.

Medidores de lux (luxómetros) y medidores de luminancia

Los luxómetros son instrumentos disponibles comercialmente que se utilizan comúnmente para medir fuentes de luz individuales a corta distancia (es decir, en metros en lugar de en escala de paisaje). No obstante, se puede utilizar la ley del cuadrado inverso para calcular la iluminancia si se conoce la distancia. Los medidores de lux y de luminancia miden la luz en base a la curva de sensibilidad fotópica de los humanos. Los luxómetros miden la luz que incide sobre una superficie y los medidores de luminancia miden la luz incidente desde un ángulo sólido específico equivalente al resplandor percibido de la fuente de luz.

Beneficios: ambos medidores pueden ser poco costosos (con disponibilidad de modelos más caros) y fáciles de utilizar.

Limitaciones: ambos tipos de dispositivos son fotométricos, pero las mediciones se basan en la percepción humana más que de la fauna silvestre. Según la sensibilidad del equipo de medición, es posible que los límites de detección no sean lo suficientemente bajos para medir el resplandor o la iluminancia típicos del cielo nocturno y, por lo tanto, no pueden medir el resplandor del cielo con fines de seguimiento de la fauna silvestre. Los medidores de luz no tienen resolución angular y los medidores de luminancia son poco sofisticados, por lo que no se pueden utilizar para medir con precisión fuentes de luz distantes en el horizonte.

Aplicación a programas de seguimiento de la fauna silvestre: los medidores comerciales de luminancia y de lux no son apropiados para la medición de la luz en los programas de seguimiento de la fauna silvestre porque tienen baja sensibilidad y baja precisión a niveles de luz reducidos. Es posible que existan dispositivos personalizados costosos de mayor sensibilidad, pero aún no son aplicables al seguimiento de la fauna silvestre, ya que no miden la luz biológicamente relevante y no son apropiados para su uso a escala de paisaje.

Instrumentos multicanal

Estos instrumentos mapean y miden el resplandor del cielo analizando imágenes fotográficas de todo el cielo. Se elaboran las imágenes para obtener un valor de luminancia de todo el cielo o de partes del mismo. Una de las ventajas de las imágenes bidimensionales (grandes angulares) es que pueden extraerse modelos de fuentes naturales de luz en el cielo nocturno de todas las imágenes del cielo para detectar las fuentes antropogénicas⁵³ (Duriscoe, 2013). A continuación, se analizan algunos ejemplos de dispositivos y técnicas para mapear y medir el resplandor del cielo nocturno utilizando imágenes gran angulares.

Monitor de transmisión de todo el cielo (ASTMON por sus siglas en inglés)

Esta cámara astronómica con dispositivo de carga acoplada (CCD) y lente de ojo de pez se ha modificado mediante la adición de una rueda de filtros para permitir la recopilación de datos a través de cuatro bandas fotométricas en el espectro visible. El rango espectral del instrumento depende de la sensibilidad del detector y los filtros utilizados, pero tiene la ventaja de estar calibrado con precisión sobre las estrellas.

Beneficios: el ASTMON fue diseñado para su instalación al aire libre y la versión de Lite es portátil con un encajonamiento resistente a la intemperie que le permite permanecer al aire libre operando robóticamente durante semanas. Proporciona datos en magnitudes/arcsec² para cada banda y

tiene buena precisión y exactitud⁵⁰ (Hänel et al., 2018). Una vez calibrado el sistema con estrellas estándar, puede proporcionar datos radiométricos relativos a todo el cielo nocturno, así como resolver fuentes de luz individuales.

Limitaciones: el ASTMON es costoso y requiere conocimientos especializados para elaborar e interpretar datos. El software proporcionado no es de código abierto y, por lo tanto, no puede modificarse para adaptarlo a los requisitos individuales. Es posible que ya no se disponga del ASTMON comercialmente. Las cámaras CCD utilizadas tienen también un rango dinámico limitado.

Aplicación a programas de seguimiento de la fauna silvestre: el ASTMON es apropiado para el seguimiento de la luz artificial para la fauna silvestre, ya que proporciona mediciones de todo el cielo nocturno que se pueden calibrar para ofrecer información biológicamente relevante que sea precisa y repetible.

Cámara digital equipada con lentes gran angulares y de ojo de pez

Este enfoque es parecido al ASTMON, salvo que utiliza una cámara digital comercial con una matriz RVA en lugar de una cámara CCD con rueda de filtros, lo que hace que el sistema sea menos costo y más portátil. Este sistema proporciona datos cuantitativos sobre la luminancia del cielo en una sola imagen^{54,55} (Kolláth, 2010; Jechow et al., 2019).

Beneficios: las cámaras son fácilmente accesibles y portátiles. Cuando la precisión no es crítica, se puede obtener la distribución direccional del resplandor del cielo nocturno. Como mínimo, el uso de una cámara digital con lente de ojo de pez permite recopilar y almacenar datos de imágenes cualitativas para futuras referencias y análisis de datos. Si la configuración estándar de la cámara se utiliza de manera coherente en todos los estudios, es posible comparar imágenes para el seguimiento de los cambios espaciales y temporales en el resplandor del cielo. Este sistema también ofrece opciones de varios colores con bandas espectrales rojas, verdes y azules (RVA).

Limitaciones: las cámaras deberán calibrarse antes de su uso y ello, junto con el modelo de cámara específico, dictará la precisión de las mediciones. La calibración para la elaboración de datos requiere viñeteado de lentes (también conocido como campo plano), distorsión geométrica, sensibilidad de la cámara al color, y función de sensibilidad de la cámara. Se requieren conocimientos especializados para elaborar e interpretar estas imágenes. Además, al igual que las cámaras CCD, los detectores de las cámaras digitales tienen un rango dinámico limitado que puede saturarse fácilmente en entornos brillantes. Por otra parte, los sistemas de ojo de pez a menudo producen datos de peor calidad en el horizonte, donde la distorsión debida a la lente es mayor.

Calibrar la cámara es difícil y no se han elaborado métodos estándar. Generalmente se utilizan técnicas fotométricas de laboratorio o astronómicas que requieren conocimientos y experiencia especializados. Con esta técnica se puede lograr una precisión de ~ 10%. Las cámaras comerciales estándar están calibradas para el ojo humano (p. ej., las fotométricas); sin embargo, la capacidad de obtener y elaborar una imagen permite realizar una evaluación cualitativa de los tipos de luz (según el color del resplandor del cielo), lo que proporciona datos adicionales para interpretar la relevancia biológica de la luz.

Aplicación a programas de seguimiento de la fauna silvestre: una cámara digital equipada con lentes gran angulares o de ojo de pez es apropiada para medir la luz en programas de seguimiento de la fauna silvestre, ya que proporciona información de horizonte a horizonte con suficiente sensibilidad y precisión para detectar cambios significativos en entornos con poca luz. Las imágenes permiten la detección del resplandor del cielo, el tipo de fuente de luz y la información

de la fuente puntual. Cuando los datos se elaboran manualmente, se pueden obtener medidas biológicamente relevantes. Debido a la rapidez del sistema, se puede hacer el seguimiento de la dinámica del resplandor del cielo y la luz directa⁵⁶ (Jechow et al., 2018).

Mosaicos de todo el cielo

Esta técnica fue elaborada por el Servicio de Parques Nacionales de los EE.UU., y proporciona una imagen de todo el cielo mediante la formación de un mosaico de 45 imágenes distintas. El sistema comprende una cámara CCD, una lente estándar de 50 mm, un filtro Bessel V fotométrico astronómico con bloqueador de infrarrojos y una montura de telescopio robótica controlada por computadora. La recopilación de datos se gestiona utilizando un ordenador portátil, software comercial y guiones personalizados.

Beneficios: la resolución, precisión y exactitud angular del sistema es buena, y está calibrada y normalizada con referencia a las estrellas. Las imágenes producidas tienen alta resolución. El sistema es más adecuado para el seguimiento a largo plazo desde sitios de cielo oscuro. Sin embargo, con la adición de un filtro de densidad neutra, se puede medir la luminancia o iluminancia de una fuente de luz brillante cercana. Es posible también medir otras bandas fotométricas con el uso de filtros adicionales.

Limitaciones: el sistema es costoso y requiere conocimientos especializados para utilizarlo, y para analizar e interpretar los datos. Estas cámaras están calibradas para el ojo humano con la inclusión de un filtro visible. No obstante, la posibilidad de obtener y elaborar una imagen permite realizar una evaluación cualitativa de los tipos de luz en el cielo (según el color del resplandor del cielo), lo que proporciona datos adicionales para interpretar la relevancia biológica de la luz. Los procedimientos de medición requieren mucho tiempo y requieren condiciones perfectas de cielo despejado y una sola banda espectral, o bien, se requieren mediciones repetidas.

Cámaras móviles de luminancia

Ventajas: Las nuevas y asequibles cámaras móviles de luminancia son capaces de generar imágenes de alta resolución en falso color de los alrededores medidos en una alta resolución óptica como la de una fotografía y cuentan con software para su evaluación. La cámara está basada en una cámara reflex digital de objetivo único y puede emplearse para medir niveles de luz muy bajos. Debido a la resolución y evaluación de la imagen fotográfica, las distintas fuentes de luz no se superponen y pueden evaluarse simultáneamente, aunque estén cercanas las unas de las otras. Los valores de luminancia se calculan a partir de transformaciones numéricas de datos de sensores RGB. Esta puede ser una forma eficaz de caracterizar los campos luminosos en un entorno nocturno si 1) los datos se usan de forma adecuada y en las unidades correctas; y 2) los instrumentos se calibran adecuadamente para su uso en niveles típicos de iluminación exterior nocturna.

Limitaciones: las cámaras móviles de luminancia siguen estando ajustadas a la sensibilidad humana. La luminancia se calcula a partir de una imagen RGB en formato RAW (es decir, un archivo de una imagen digital). Estos dispositivos no pueden evaluar la UV y los IR. Las imágenes se capturan con sensibilidades de cámaras estándar y requieren unos niveles de luz más elevados en la zona que se desea fotografiar, por lo que no son adecuadas para evaluar perturbaciones de bajo nivel como el resplandor del cielo.

Aplicación a programas de seguimiento de la vida silvestre: las cámaras móviles de luminancia podrían utilizarse para evaluar fuentes de luz potencialmente molestas.

Espectroscopia/espectroradiometría

Los diferentes tipos de luz producen una firma espectral o una distribución de potencia espectral específicas (ver, por ejemplo, la Figura 26). Utilizando un espectrómetro es posible separar la radiación total del cielo en sus fuentes contribuyentes según sus características espectrales. Es importante poder evaluar los impactos de diferentes fuentes de luz durante este período de transición en la tecnología de la iluminación.

Cuando se conoce la sensibilidad de la fauna silvestre a determinadas regiones de longitud de onda de la luz, el hecho de poder captar las distribuciones de potencia espectral de la luz artificial y poder prever luego cómo percibirá la luz la fauna silvestre servirá en modo particular para evaluar los probables impactos de la luz artificial.

Este tipo de enfoque, utilizado en astronomía durante mucho tiempo, solo recientemente se ha aplicado a la medición y caracterización de la contaminación lumínica en tierra. A continuación, se describe un ejemplo de un espectrómetro desplegable de campo: el espectrómetro para detección nocturna de aerosoles (SAND por sus siglas en inglés).

Espectrómetro para detección nocturna de aerosoles (SAND)

En el SAND se utiliza una cámara de imágenes CCD como sensor de luz, junto con un espectrómetro de rendija larga. El sistema tiene un rango espectral de 400 a 720 nm completamente automatizado. Puede separar el resplandor del cielo muestreado en sus principales fuentes contribuyentes.

Beneficios: este enfoque puede cuantificar la luz en longitudes de onda específicas en todo el espectro (radiométrico) lo que permite medir la luz visible para la fauna silvestre. Puede utilizarse también para crear "huellas digitales" de diferentes tipos de luz.

Limitaciones: la calibración, recopilación e interpretación de estos datos requiere conocimientos y equipos especializados que son costosos. El SAND no proporciona información de todo el cielo.

Aplicación a programas de seguimiento de la fauna silvestre: el uso de un espectrómetro portátil que permite identificar tipos de luz basándose en su distribución de potencia espectral o medir la luz en longitudes de onda específicas de interés podría resultar útil para un programa de seguimiento de la fauna silvestre. Lamentablemente, ya no se utiliza el prototipo de instrumento SAND. Sin embargo, este instrumento ejemplifica el tipo de enfoques que serán beneficiosos para medir la luz en relación con la fauna silvestre en el futuro.

El instrumento más apropiado para medir la luz biológicamente relevante

El método más apropiado para medir la luz en relación con la fauna silvestre dependerá de las especies presentes y del tipo de información requerida. En general, un enfoque apropiado será el de cuantificar la luz en todo el cielo, en todas las regiones espectrales, diferenciando las fuentes de luz puntuales del resplandor del cielo, y será repetible y fácil de utilizar.

En el momento de redactar este documento, Hänel et al (2018) y Barentine (2019) recomendaban la técnica de cámara digital y lente de ojo de pez como el mejor compromiso entre el costo, la facilidad de uso y la cantidad de información que se obtiene mediante la medición y el seguimiento del resplandor del cielo. Sin embargo, Hänel et al (2018) reconocieron la urgente necesidad de elaborar un software estándar para la calibración y la visualización de los resultados de los instrumentos de seguimiento de la luz⁵⁰.

Cuadro 1 Ejemplos de técnicas instrumentales de medición de la luz (modificado de Hänel et al, 2018⁵⁰). Abreviaturas: Val. num. = Valor numérico; Conoc. Específico = Se requieren conocimientos especializados; Req. calibración = Requiere calibración.

Instrumento	Unidades de medición	Resplandor del cielo	Tipo de datos	Espectro medido	Escala	Mide la luz biológicamente relevante	Disponible en el comercio	Calidad de los datos	Precio#
<i>Teledetección:</i> Imágenes de satélite	Diversas	Sí* a través de modelización	Imágenes + valor numérico	Banda única	Paisaje	No	Sí	Mod-alta	Algunos conjuntos de datos son gratuitos
<i>Unidimensional:</i> Medidor de la calidad del cielo (SQM) Medidor de cielo oscuro (iPhone)	magSQM/arcsec ² ~magSQM/arcsec ² lux	Sí Sí No	valor numérico valor numérico valor numérico	Banda única Banda única Banda única	Cielo sobre la cabeza Cielo sobre la cabeza Metros	No [§] No No	Sí Sí Sí	Mod Baja Baja	Coste bajo Sin coste / insignificante Coste bajo
Multicanal: ASTMON DSLR + ojo de pez Mosaico de todo el cielo	magv/arcsec ² ~cd/m ² , ~magv/arcsec ² cd/m ² , magv/arcsec ²	Sí Sí Sí	Imagen + valor numérico Imagen + valor numérico Imagen + valor numérico	Rueda de filtro multibanda RVA de multibanda Banda única	Todo el cielo Todo el cielo Todo el cielo	Req. calibración. Req. calibración. Req. calibración.	No Sí No	Alta Mod-alta Alta	Coste elevado Coste elevado Coste elevado
Cámara móvil de luminancia	cd/m ²	No	Imagen + valor numérico	Sensor RGB	Paisaje Luces molestas		Sí	Alta	Coste elevado
<i>Espectroradiometría:</i> Espectrómetro para la detección nocturna de aerosoles	W/(m ² nm sr)	Sí	Curva de potencia espectral	Hiperespectral multibanda	Paisaje	Sí	No	Mod-alta	Coste elevado

Precio en 2018.

* Mediante la elaboración de modelos

§ Cierta sensibilidad a las longitudes de onda cortas (azules), pero no a las longitudes de onda largas (rojo, anaranjado).

¥ Espectrómetro para detección nocturna de aerosoles (SAND).

Elaboración de modelos para la iluminación prevista

Modelos de luces comerciales disponibles

La mayor parte del software de elaboración de modelos actualmente disponible es problemático, debido a que los modelos están ponderados para la percepción humana de la luz, representada por la curva CIE/fotométrica y no tienen en cuenta la luz a la que la fauna silvestre es más sensible. Por ejemplo, la mayor parte de la fauna silvestre es sensible a la luz violeta y azul de longitud de onda corta (Figura 17), pero pocas o ninguna de estas luces se mide con instrumentos comerciales y, en consecuencia, no se tiene en cuenta en los modelos de iluminación actuales.

Una segunda limitación de muchos modelos de iluminación para la biología es la incapacidad de explicar con precisión los factores ambientales, tales como: condiciones atmosféricas (humedad, nubes, lluvia, polvo); topografía del sitio (colinas, dunas de arena, orientación de la playa, vegetación, edificios); otras fuentes naturales de luz (luna y estrellas); otras fuentes de luz artificiales; la producción espectral de las luminarias; y la distancia, elevación y ángulo de visión de las especies que observan. Tal modelo implicaría un nivel de complejidad que la ciencia y la tecnología no han logrado todavía.

Una última limitación importante es la falta de datos biológicos con los que interpretar con seguridad el resultado de un modelo. No es posible, por tanto, estimar objetivamente cuánta será la luz artificial que pueda causar un impacto en una determinada especie o clase de edad, a una distancia dada y en condiciones ambientales variables.

Reconociendo estas limitaciones, puede ser no obstante valioso modelar la luz durante la fase de diseño de nuevas instalaciones de iluminación para ensayar posibles soluciones sobre el entorno de luz. Por ejemplo, en los modelos se podría ensayar el potencial de derrame de luz y la visibilidad de una fuente en la línea de visión. Estas soluciones hipotéticas deberán confirmarse después de la construcción.

La elaboración de instrumentos de modelado en los que se puedan tener en cuenta datos espectrales amplios y las condiciones ambientales se encuentran en las primeras etapas de desarrollo, pero están en rápido mejoramiento⁴⁹ (Barentine, 2019).

Apéndice D – Auditoría de la luz artificial

Las mejores prácticas de la industria requieren la inspección in situ de una construcción para asegurar que cumple con las especificaciones del diseño. Se deberá realizar una auditoría de la luz artificial después de la construcción para confirmar el cumplimiento del plan de gestión de la iluminación artificial.

No se puede realizar una auditoría de la luz artificial limitándose a la elaboración de un modelo conforme al diseño correspondiente a lo que se ha construido, sino que deberá incluir también una visita del sitio para:

- Confirmar el cumplimiento del plan de gestión de la iluminación artificial
- Verificar la conformidad de la obra con el diseño de ingeniería
- Reunir los detalles de cada luminaria in situ
- Realizar una inspección visual de la iluminación de la instalación desde el hábitat de la fauna silvestre.
- Examinar el seguimiento de la luz artificial en el sitio del proyecto.
- Examinar el seguimiento de la luz artificial en el hábitat de la fauna silvestre.

Tras la finalización de un nuevo proyecto o la modificación/mejora del sistema de iluminación de un proyecto existente, el proyecto deberá ser auditado para confirmar el cumplimiento del plan de gestión de la luz artificial.

Guía fase por fase

Las fases para realizar una auditoría de la luz artificial comprenden:

- Examen del plan de gestión de la iluminación artificial
- Examen de las mejores prácticas para la gestión de la luz o las condiciones de aprobación
- Examen de los planos de construcción para comprobar el diseño de iluminación.
- Verificar el cumplimiento del diseño de iluminación previo a la construcción (diseño técnico inicial) aprobado;
- Realizar una inspección del sitio tanto durante el día como durante la noche para verificar visualmente y medir la ubicación, número, intensidad, potencia espectral, orientación y gestión de cada lámpara y tipo de lámpara. Siempre que sea posible, estas verificaciones deberán realizarse con la iluminación en funcionamiento y con todas las luces apagadas.
- Las mediciones deberán efectuarse de forma biológicamente significativa. Cuando existan limitaciones respecto de las mediciones relativas a la fauna silvestre, deberán reconocerse tales limitaciones.
- Tomar nota, cotejar y notificar los resultados, e indicar cualquier incumplimiento. Deberán tenerse en cuenta cualesquiera diferencias entre los datos básicos de referencia y las observaciones posteriores a la construcción. Cuando los resultados de iluminación

previstos se han modelado como parte de la fase de diseño, los resultados efectivos deberán compararse con los modelos previstos.

Formular recomendaciones sobre toda posible mejora o modificación del diseño de la iluminación que disminuya el impacto en la fauna silvestre. La auditoría deberá ser realizada por un practicante/especialista técnico ambiental debidamente cualificado durante una visita al sitio. La auditoría deberá incluir también cuanto sigue:

- La inspección visual de la iluminación de la instalación desde la ubicación del hábitat de la fauna silvestre y, cuando sea posible, la perspectiva de la fauna silvestre (es decir, el nivel de la arena para una tortuga marina)
- La inspección de la luz artificial en el sitio del proyecto.
- La inspección de la luz artificial en el hábitat de la fauna silvestre.

La visita del sitio posterior a la construcción es fundamental para asegurar que no se pasen por alto problemas de iluminación no identificados anteriormente.

Apéndice E – Lista de verificación de la gestión de la luz artificial

En el Cuadro 2 se proporciona una lista de verificación de las cuestiones que se deberán examinar durante la evaluación ambiental de la nueva infraestructura dotada de luz artificial, o de las mejoras de la iluminación artificial existente tanto para los proponentes como para los evaluadores. En el Cuadro 3 se proporciona una lista de verificación de los aspectos que se deberán examinar respecto de la infraestructura existente con iluminación externa donde se observa que las especies se ven afectadas por la luz artificial. Se proporcionan secciones pertinentes de las Directrices para cada tema.

Cuadro 2 Lista de verificación de las nuevas construcciones o las mejoras relativas a la iluminación.

Aspecto que se ha de examinar	Propietario o gestor de la luz	Reglamentación	Información adicional
<i>Antes de la realización</i>			
¿Cuáles son los requisitos reglamentarios de la luz artificial para este proyecto?	¿Se requiere una evaluación del impacto ambiental? ¿Qué otros requisitos deberán abordarse?	¿Qué información se deberá solicitar al proponente como parte del proceso de evaluación?	Consideraciones reglamentarias para la gestión de la luz artificial
¿El diseño de iluminación se ajusta a los principios de mejores prácticas?	¿Cuál es la finalidad de la luz artificial para este proyecto?	¿Se aplican en el proyecto los principios de mejores prácticas en el diseño de la iluminación?	Mejores prácticas en el diseño de la iluminación
¿Qué fauna silvestre es probable que se vea afectada por la luz artificial?	Examinar la información sobre las especies presentes dentro de los 20 km de la zona de desarrollo propuesto.	Evaluar la información sobre las especies.	Fauna silvestre y luz artificial
¿Qué gestión de la luz y mitigación de los impactos se aplicarán?	¿Qué mitigación y gestión de la luz será más eficaz para las especies afectadas?	¿Es probable que la gestión y la mitigación propuestas reduzcan los efectos sobre las especies cuya conservación es motivo de preocupación?	Apéndices técnicos específicos de las especies y orientación de expertos sobre las especies
¿Cómo se modelará la luz?	¿Es el modelado de la luz apropiado? ¿Cómo se utilizará el modelo para documentar la gestión de la luz en relación con la fauna silvestre?	¿Se reconocen adecuadamente las limitaciones del modelado de la luz para la fauna silvestre?	Elaboración de modelos para la luz prevista

Aspecto que se ha de examinar	Propietario o gestor de la luz	Reglamentación	Información adicional
¿Se han incluido todas las consideraciones relevantes para la iluminación en el plan de gestión de la iluminación?	¿Se han realizado y documentado todas las fases del proceso de EIA en el plan de gestión de la iluminación?	¿En el plan de gestión de la iluminación se describen de forma exhaustiva todas las fases del proceso de EIA?	Evaluación del impacto ambiental de los efectos de la luz artificial sobre la fauna silvestre Plan de gestión de la luz
¿Cómo se logrará una mejora constante?	¿Cómo se evaluará y adaptará la gestión de la luz?	¿Se describe un proceso de examen y mejora constantes?	Plan de gestión de la luz
<i>Después de la realización</i>			
¿Cómo se medirá la iluminación?	¿Cuál es la técnica(s) más apropiada(s) para medir la luz biológicamente relevante y cuáles son las limitaciones?	Asegurarse de que se utilicen técnicas de medición de la luz adecuadas y se reconozcan las limitaciones de los métodos.	Medición de la luz biológicamente relevante
¿Cómo se auditará la iluminación?	¿Cuál es la frecuencia y el marco para las auditorías internas de la luz?	¿Cómo se reflejarán los resultados de las auditorías de la luz en un proceso de mejora constante?	Auditoría de la luz artificial
¿Está afectando la luz artificial a la fauna silvestre?	¿Se indica en el estudio biológico un efecto de la luz artificial sobre la fauna y qué cambios se realizarán para mitigar este efecto?	¿Existe un proceso para abordar resultados del seguimiento que indiquen que hay un impacto de la luz detectable en la fauna silvestre, y es apropiado?	Fauna silvestre y luz artificial Plan de gestión de la luz Gestión de la contaminación lumínica existente
¿Qué gestión adaptativa se puede introducir?	¿Cómo se utilizarán los resultados de las auditorías de la luz y el estudio biológico en un marco de gestión adaptativa, y cómo se incorporarán los avances tecnológicos en la gestión de la luz artificial?	¿Qué condiciones se pueden establecer para asegurar un enfoque de mejora constante respecto de la gestión de la luz?	Plan de gestión de la luz

Cuadro 3 Lista de verificación de la infraestructura existente

Examen	Propietario o gestor de la luz	Reglamentación	Información adicional
<p>¿Muestra la fauna silvestre algún cambio en la supervivencia, el comportamiento o la reproducción que se pueda atribuir a la luz artificial?</p>	<p>¿Qué especies cuya conservación es motivo de preocupación se encuentran a menos de 20 km de la fuente de luz? ¿Hay animales muertos o muestran los animales algún comportamiento compatible con los efectos de la luz artificial?</p>	<p>¿Hay pruebas que indiquen que la luz artificial sea la causa de algún cambio en la supervivencia, el comportamiento o el resultado reproductivo de la fauna silvestre? Examinar las aprobaciones ambientales vigentes</p>	<p>Describir la fauna silvestre Fauna silvestre y luz artificial Consideraciones reglamentarias para la gestión de la luz Asesoramiento de expertos sobre las especies</p>
<p>¿Constituye la iluminación utilizada en el área la mejor práctica?</p>	<p>¿Podrían realizarse modificaciones o actualizaciones tecnológicas para mejorar la gestión de la luz artificial?</p>	<p>¿Hay propietarios o gestores de la iluminación a quienes se puedan contactar para modificar la iluminación actual?</p>	<p>Principios de mejores prácticas en el diseño de la iluminación</p>
<p>¿Afecta a la fauna silvestre la luz de una sola fuente o de múltiples fuentes?</p>	<p>¿Son múltiples las partes interesadas que deberán unirse para abordar la contaminación lumínica acumulativa?</p>	<p>¿Tiene el gobierno una función que desempeñar para facilitar la colaboración entre propietarios y gestores de la iluminación para abordar la contaminación lumínica?</p>	<p>Gestión de la contaminación lumínica existente Plan de gestión de la luz</p>
<p>¿Es posible realizar un seguimiento adecuado para confirmar la función que desempeña la luz artificial en la supervivencia, o los cambios en el comportamiento o los resultados reproductivos de la fauna silvestre?</p>	<p>¿Cuánta luz se emite desde la propiedad y está afectando a la fauna silvestre?</p>	<p>Facilitar el seguimiento biológico de la fauna silvestre.</p>	<p>Estudios de campo relacionados con la fauna silvestre Medición de la luz biológicamente relevante Asesoramiento de expertos sobre las especies</p>

¿Cómo se auditará la luz artificial?	¿Cuál es la frecuencia y el marco para las auditorías internas de la luz?	¿Se puede realizar una auditoría de la luz a escala regional?	Auditoría de la luz artificial
¿Qué gestión adaptativa de la luz se puede introducir?	¿Se pueden incorporar mejoras de tecnología de la iluminación en la iluminación existente?	¿Qué cambios se pueden aplicar en respuesta al seguimiento biológico y las auditorías de la luz?	Asesoramiento técnico especializado de la iluminación

Apéndice F – Tortugas marinas

Las tortugas marinas anidan en las playas de arena. Hay pruebas sólidas que demuestran los efectos de la luz en el comportamiento y la supervivencia de las tortugas. Es probable que la luz afecte a las tortugas, si la misma se puede ver desde la playa de anidación, o desde cerca de la costa o las aguas adyacentes.

Es posible que la luz artificial disuada a las hembras adultas de anidar si la luz es visible en una playa de anidación. Las crías pueden quedar desorientadas y ser incapaces de encontrar el mar o lograr dispersarse hacia el océano abierto. Se han observado efectos de la luz en el comportamiento de las tortugas causados por luces situadas incluso a 18 km de distancia.

Entre los aspectos físicos de la luz que producen mayores efectos en las tortugas cabe incluir la intensidad, el color (longitud de onda) y la elevación sobre la playa. La gestión de estos aspectos contribuirá a reducir la amenaza que deriva de la luz artificial.

Siete especies de tortugas marinas incluidas en los apéndices de la CMS: la tortuga verde (*Chelonia mydas*), la tortuga boba (*Caretta caretta*), la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*), la tortuga lora (*Lepidochelys kempii*) la tortuga plana (*Natator depressus*) y la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*). La luz artificial puede alterar comportamientos esenciales tales como la anidación de los adultos y la orientación de la incubación, la búsqueda del mar y la dispersión, y puede reducir la viabilidad reproductiva de las poblaciones de tortugas.

La contaminación lumínica se determinó como amenaza de alto riesgo en el Plan de recuperación para las tortugas marinas en Australia (2017), ya que la luz artificial puede alterar comportamientos fundamentales, tales como la anidación de los adultos y la orientación de las crías, la búsqueda y dispersión en el mar, y puede reducir la viabilidad reproductiva de las poblaciones de tortugas⁵⁷. Una medida fundamental indicada en el Plan de Recuperación fue la elaboración de directrices para la gestión de la contaminación lumínica en áreas adyacentes al hábitat de tortugas biológicamente sensibles.



Figura 27 Tortuga boba. Foto: David Harasti.

Estado de conservación

Las tortugas marinas están protegidas por tratados y acuerdos internacionales, tales como la Convención sobre la Conservación de Especies Migratorias de Animales Silvestres (CMS, Bonn 1979), la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES, Washington 1973), y el Memorando de Entendimiento de la CMS sobre la conservación y ordenación de las tortugas marinas y sus hábitats del Océano Índico y el Asia sudoriental (IOSEA, 2005). El [Memorando de Entendimiento sobre medidas de Conservación y Gestión para las Tortugas marinas y sus hábitats del Océano Índico y el Sudeste Asiático de la CMS \(IOSEA, 2001\)](#) y la [Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas](#) (2001). La CMS adoptó el [Plan de Acción Individual para la Tortuga Boba \(*Caretta caretta*\) en el Océano Pacífico Sur](#) en 2014, y el [Plan de Acción de Especie Única para la Tortuga Carey \(*Eretmochelys imbricata*\) en el Sudeste Asiático y la Región del Océano Pacífico Occidental](#) en 2022. Ver el Cuadro 4 para las inclusiones de la CMS y los estados de la Lista Roja de la UICN de las especies de tortugas marinas.

Cuadro 4: inclusión de tortugas marinas en apéndices de la CMS y estados de la Lista Roja de la UICN (CMS, 2023a; UICN, 2023)

Nombre común	Nombre científico	Año de inclusión en el Apéndice I	Año de inclusión en el Apéndice II	Estado y tendencia de la Lista Roja Mundial de la UICN (2023)
Tortuga verde	<i>Chelonia mydas</i>	1979	1979	En peligro (decreciendo)
Tortuga boba	<i>Caretta caretta</i>	1985	1979	Vulnerable (decreciendo)
Tortuga carey	<i>Eretmochelys imbricata</i>	1985	1979	En peligro crítico (decreciendo)
Tortuga lora	<i>Lepidochelys kempii</i>	1979	1979	En peligro crítico (desconocido)
Tortuga golfina	<i>Lepidochelys olivacea</i>	1985	1979	Vulnerable (decreciendo)
Tortuga laúd	<i>Dermochelys coriacea</i>	1979	1979	Vulnerable (decreciendo)
Tortuga plana	<i>Natator depressus</i>	-	1979	Datos insuficientes

Distribución y hábitat

Entre los hábitats de anidación de tortugas cabe incluir las playas subtropicales y tropicales continentales. Cada población anidadora es diferente en función de las condiciones locales y, por tanto, deben determinarse momentos sensibles como los períodos pico de nidificación caso por caso para que su gestión sea efectiva

El Grupo de Especialistas en Tortugas Marinas de la UICN/SSC ha desarrollado un conjunto de criterios y un marco para definir las áreas importantes para las tortugas marinas: [Important Marine Turtle Areas \(IMTAs\)](#). Las áreas importantes para las tortugas marinas son «zonas discretas dentro de las Unidades Regionales de Gestión de tortugas marinas (RMU) existentes que tengan una importancia biológica especial para la persistencia de tortugas marinas, y/o donde las contribuciones de las tortugas marinas a las tradiciones y culturas de la población local sean especialmente considerables».

Efectos de la luz artificial en las tortugas marinas

Los efectos de la luz artificial en el comportamiento de las tortugas han sido reconocidos ya desde 1911⁵⁸ (Hooker, 1911) y desde entonces un corpus investigativo sustancial de investigación se ha destinado a estudiar en qué modo afecta la luz a las tortugas y sus efectos en las poblaciones de tortugas - para su examen véanse Witherington y Martin (2003)³; Lohmann et al (1997)⁴⁸; y Salmon (2003)⁵⁹. El aumento mundial de la contaminación lumínica debido a la urbanización y el desarrollo costero⁶⁰ (Falchi et al., 2016) suscita particular preocupación respecto de las tortugas, ya que su hábitat importante de anidación coincide con frecuencia con áreas de desarrollo urbano e industrial en gran escala⁶¹, que tienen el potencial de emitir una gran cantidad de luz, en forma de luz directa, luz reflejada, resplandor del cielo y antorchas de gas^{62,63}. Se observó que las áreas de anidación en la plataforma noroccidental de Australia Occidental y a lo largo de la costa suroriental de Queensland eran las que presentaban mayor riesgo debido a la luz artificial⁶¹ (Pendoley, 2000; Pendoley, 2005; Kamrowski et al., 2012).

Efectos de la luz artificial sobre las tortugas anidadoras

Aunque pasan la mayor parte de su vida en el océano, las hembras anidan en playas arenosas tropicales y subtropicales, predominantemente de noche. Dependen de señales visuales para seleccionar playas de anidación y orientarse en tierra. Se ha demostrado que la iluminación nocturna artificial en las playas o cerca de ellas altera el comportamiento de anidación³ (Witherington y Martin, 2003). Las playas iluminadas con luz artificial, por ejemplo, en los desarrollos urbanos, las carreteras y los muelles, suelen registrar densidades de hembras anidadoras más reducidas que en las playas oscuras^{59,64} (Salmon, 2003; Hu et al., 2018).

Algunos tipos de luz (sodio de baja presión [LPS]¹⁵ y sodio de alta presión [HPS] filtrado) no parecen afectar a las densidades de anidación, ya que excluyen longitudes de onda inferiores a 540 nm)⁶⁵ (Witherington, 1992; Pennell, 2000). En las playas expuestas a la luz, las hembras anidan en mayor número en las zonas sombreadas^{14,66} (Price et al., 2018; Salmon et al., 1995). También las fuentes de luz artificial móviles (p. ej., fotografías con flash)⁶⁷ pueden desalentar la anidación o causar trastornos a las hembras anidadoras (Campbell, 1994).

Efectos de la luz artificial sobre las crías que salen del nido

La mayor parte de las tortugas recién nacidas salen de noche⁶⁸ y deben llegar rápidamente al océano para evitar la depredación⁶⁹ (Mrosovsky, 1968; Erb y Wyneken, 2019). Las crías localizan el océano sirviéndose de una combinación de señales topográficas y de resplandor, orientándose hacia el horizonte oceánico más bajo y más brillante y lejos de las siluetas oscuras elevadas de dunas y/o vegetación detrás de la playa^{37,48,70} (Lohmann et al., 1997; Limpus y Kamrowski, 2013; Pendoley y Kamrowski, 2015a). Pueden encontrar también el mar utilizando señales secundarias como la pendiente de la playa⁴⁸ (Lohmann et al., 1997).

El comportamiento de búsqueda del mar puede verse perturbado por las luces artificiales, incluidas las antorchas⁶², que interfieren con la iluminación natural y las siluetas^{3,26,37} (Pendoley 2000; Witherington y Martin, 2003; Kamrowski et al., 2014; Pendoley y Kamrowski, 2015a). La iluminación artificial puede perturbar el comportamiento de búsqueda del mar por las crías de dos maneras: por desorientación - cuando las crías se arrastran por lugares tortuosos; o por falsa orientación - cuando se mueven en la dirección incorrecta, posiblemente atraídos por luces artificiales^{3,39} (Witherington y Martin, 2003; Salmon, 2006). En tierra, el desplazamiento de las crías en una dirección diferente a la del mar conduce a menudo a la muerte por depredación, agotamiento, deshidratación o aplastamiento por vehículos en las carreteras⁶⁹ (Erb y Wyneken, 2019).

Longitud de onda, intensidad y dirección

El resplandor se reconoce como una señal importante para las crías cuando intentan orientarse hacia el océano. El resplandor se refiere a la intensidad y longitud de onda de la luz en relación con la sensibilidad espectral del ojo receptor³ (Witherington y Martin, 2003). Tanto los estudios sobre el terreno como los de laboratorio indican que las crías tienen una fuerte tendencia a orientarse hacia la dirección más brillante. La dirección más brillante en una playa naturalmente oscura es típicamente hacia el océano, donde el horizonte está abierto y no obstaculizado por dunas o sombras de vegetación⁷⁰ (Limpus y Kamrowski, 2013).

La atracción de las crías hacia la luz difiere según la especie^{63,72}, pero en general, las luces artificiales más perjudiciales para las crías son las ricas en color azul y verde, de longitud de onda corta (p. ej., halogenuro metálico, vapor de mercurio, fluorescente y LED) y las luces menos perjudiciales son las que emiten luz de color amarillo-naranja pura de longitud de onda larga (p. ej., vapor de sodio de alta o baja presión)^{63,73} (Witherington y Bjorndal, 1991; Pendoley, 2005; Horch et al., 2008; Fritches, 2012). Las tortugas bobas se sienten particularmente atraídas por la luz a 580 nm⁷⁴, las tortugas verdes y las tortugas planas son atraídas por la luz de <600 nm, con preferencia por la luz de longitud de onda más corta que por la luz de longitud de onda más larga^{63,73}, y muchas especies son también atraídas por la luz clasificada en el rango ultravioleta (<380 nm)^{72,73} (Witherington y Bjorndal, 1991; Levenson et al., 2004; Pendoley, 2005; Fritches, 2012).

Si bien las longitudes de onda de luz más largas son menos atractivas que las longitudes de onda más cortas, pueden no obstante obstaculizar la búsqueda del mar^{37,63,75}, y si son lo suficientemente brillantes pueden provocar una respuesta similar a la de la luz de longitud de onda más corta^{76,78} (Mrosovsky y Shettleworth, 1968; Mrosovsky, 1972; Pendoley, 2005; Pendoley y Kamrowski, 2015ab; Robertson et al., 2016). Por tanto, el efecto perturbador de la luz en las crías depende también en gran medida de su intensidad. La luz roja deberá ser casi 600 veces más intensa que la luz azul para que las crías de tortuga verde muestren una preferencia igual por los dos colores⁷⁶ (Mrosovsky, 1972). Es, pues, importante considerar tanto la longitud de onda como la intensidad de la luz.

Dado que, en algunas playas de anidación, el sol o la luna pueden aparecer detrás de las dunas, las crías atraídas por estas fuentes puntuales de luz no llegarían al océano. Las crías se orientan integrando la luz a través de un "cono de aceptación" o "rango de visión" horizontalmente ancho (180° para las tortugas verdes, golfinas y bobas) y verticalmente estrecho ("unos pocos grados" para las tortugas verdes y golfinas, y $10^\circ - 30^\circ$ para las tortugas bobas). Esta integración asegura que la luz más cercana al horizonte desempeñe la función más importante en la determinación de la dirección de orientación, por lo que es importante considerar el tipo y la dirección de la luz que llega a las crías⁴⁸ (Lohmann et al., 1997).

Como resultado de estas sensibilidades, se ha observado que las crías responden a la luz artificial situada a una distancia de hasta 18 km durante la búsqueda del mar²⁶.

Forma y conformación

El resplandor y la elevación del horizonte son también señales importantes para la orientación de las crías. En estudios de laboratorio y sobre el terreno se ha observado que las crías se alejan de horizontes oscuros elevados y se dirigen hacia horizontes brillantes más bajos^{70,79} (Limpus y Kamrowski, 2013; Salmon et al., 1992). Sin embargo, en presencia de ambas señales, las crías responden más a los efectos de las siluetas y la elevación del horizonte oscurecido que a las diferencias de resplandor. En una playa natural, este comportamiento alejaría a las crías de las dunas y la vegetación y las dirigiría hacia el horizonte más abierto sobre el océano.

Esta hipótesis ha sido respaldada por experimentos sobre el terreno en los que la búsqueda del mar por las crías estaba considerablemente menos orientada hacia el océano cuando estaban expuestas a la luz de 2° de elevación en comparación con 16° de elevación, lo que subraya la importancia de las señales de elevación del horizonte en la búsqueda de las crías³⁷ (Pendoley y Kamrowski, 2015a).

Efectos de la luz artificial sobre las crías en aguas cercanas a la costa

Las luces artificiales pueden interferir también con la dispersión de las crías en el agua⁷² (Witherington y Bjorndal, 1991). Las crías que se alejan de playas iluminadas emplean más tiempo en cruzar las aguas cercanas a la costa y pueden incluso verse atraídas de vuelta a la orilla^{80,81} (Harewood y Horrocks, 2008). Un estudio de Costa Rica concluyó que las tortugas golfinas seguían sintiéndose atraídas por las luces cuando estaban en el océano (Cruz et al., 2018). Esto tiene implicaciones para cualquier intento de mitigar el impacto negativo de la luz artificial en los hábitats usados por tortugas. Según los informes, en el mar, las crías nadan alrededor de las luces de las embarcaciones^{33,82} (Limpus et al., 2003; White y Gill, 2007) y, en estudios de laboratorio, las luces han atraído a las crías que nadan en el agua⁸³ (Salmon y Wyneken, 1990). Los avances tecnológicos recientes en telemetría acústica han permitido realizar un seguimiento pasivo de las crías en el mar, y se ha demostrado que las crías se sienten atraídas por las luces en el mar y pasan más tiempo en el entorno cercano a la costa en presencia de luces^{16,84} (Thums et al., 2016; Wilson et al., 2018). Esta atracción puede desviar a las crías de su ruta habitual de dispersión, haciendo que permanezcan alrededor de una fuente de luz o queden atrapadas en el derrame de luz⁸⁴ (Wilson et al., 2018). Las crías nadan activamente contra las corrientes para alcanzar la luz, lo que probablemente reducirá la supervivencia por agotamiento y/o depredación. Un problema adicional es que las fuentes de luz están relacionadas con estructuras que también atraen a los peces (como los muelles), con la consiguiente mayor depredación²⁴ (Wilson et al., 2019).

Evaluación del impacto ambiental de la luz artificial en las tortugas marinas

La infraestructura con iluminación artificial que sea visible desde el exterior deberá aplicar como mínimo las [Mejores prácticas en el diseño de la iluminación](#). En presencia de un hábitat importante para las tortugas dentro de los 20 km de un proyecto, deberá realizarse una EIA.

En las secciones que figuran a continuación se explica el [proceso de EIA](#) con una consideración específica para las tortugas.

La zona de amortiguación de 20 km en consideración de un hábitat importante se basa en el resplandor del cielo aproximadamente a 15 km de la playa de anidación que afecta al comportamiento de las crías de tortugas planas²⁶ y la luz proveniente de una refinería de aluminio que perturba la orientación de las tortugas a 18 km de distancia²⁷ (Kamrowski et al., 2014; Hodge et al., 2007).

Ante la probabilidad de que la luz artificial influya en el comportamiento de las tortugas marinas, deberá examinarse la posibilidad de aplicar medidas de mitigación lo antes posible en el ciclo de vida de un proyecto y utilizarlas para documentar la fase de diseño.

Debería tenerse en cuenta la presencia de barcos con luces artificiales, sobre todo cuando los neonatos están incubando.

Orientaciones sobre el tema

- [Plan de Acción de Especie Única para la Tortuga boba \(*Caretta caretta*\) en el Océano Pacífico Sur](#)
- [Plan de Acción de Especie Única para la Tortuga Carey \(*Eretmochelys imbricata*\) en el Sudeste Asiático y la Región del Océano Pacífico Occidental](#)
- [Plan de Gestión y Conservación de la IOSEA \(Memorando de Entendimiento sobre medidas de Conservación y Gestión para las Tortugas marinas y sus hábitats del Océano Índico y el Sudeste Asiático\)](#)
- [Directrices de IOSEA para la revisión de las EIAs de los proyectos que afectan a las tortugas marinas y sus hábitats](#)
- [Página web de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas](#)
- [El Estado de las Tortugas Marinas del Mundo \(SWOT\) Reporte, Vol. XVIII](#)

Personal cualificado

El diseño/gestión de la iluminación y el proceso de EIA deberán ser realizados por personal debidamente cualificado. Los planes de gestión de la luz deberán ser elaborados y revisados por profesionales de la iluminación debidamente cualificados, en consulta con un biólogo o ecólogo marino debidamente cualificado.

Fase 1: Describir la iluminación del proyecto

En la información recopilada durante esta fase deberán tenerse en cuenta los [Efectos de la luz Artificial en las tortugas marinas](#). Las tortugas son susceptibles a los efectos de la luz en las playas y en el agua, por lo que deberá examinarse la ubicación y la fuente de luz (tanto directa como la proveniente del resplandor del cielo). Las tortugas son más sensibles a la luz de longitud de onda corta (azul/verde) y a la luz de alta intensidad de todas las longitudes de onda. Las crías son más susceptibles a la luz de baja altitud en el horizonte. Se orientan

alejándose de horizontes altos y oscuros, por lo que en la fase de diseño deberá tenerse en cuenta la presencia de dunas y/o un amortiguador de vegetación detrás de la playa.

Fase 2: Describir la población y el comportamiento de las tortugas marinas.

Se deberán describir las especies y la reserva genética que anida en el área de interés. En la descripción deberán incluirse: el estado de conservación de la especie; tendencias de las reservas (cuando se conozcan); grado de dispersión/localización de la anidación de esa reserva; abundancia de tortugas que anidan en el lugar; importancia regional de esta playa de anidación; la estacionalidad de la anidación/eclosión.

Cuando no hay datos suficientes para comprender la importancia de la población o la demografía, o cuando es necesario documentar el comportamiento efectivo de las tortugas, será tal vez necesario realizar estudios sobre el terreno y un seguimiento biológico.

Seguimiento biológico de las tortugas marinas

Todo seguimiento relacionado con un proyecto deberá ser elaborado, supervisado y los resultados interpretados por [personal debidamente cualificado](#) para asegurar la fiabilidad de los datos.

Los objetivos del seguimiento de las tortugas en un área que es probable se vea afectada por la luz artificial son:

- comprender el tamaño y la importancia de la población;
- describir el comportamiento de las tortugas antes de la introducción/mejora de la luz; y
- Evaluar el comportamiento de orientación de la anidación y eclosión para determinar la causa de cualquier desorientación o falsa orientación actual o futura.

Los datos se utilizarán para documentar la EIA y evaluar si las medidas de mitigación son satisfactorias. En la Cuadro 5 se resumen los parámetros mínimos de seguimiento sugeridos (lo que se mide) y las técnicas (cómo se miden).

Al mismo tiempo que los datos biológicos, deberán recopilarse también, como mínimo, los datos cualitativos descriptivos sobre los tipos, la ubicación y la directividad de la luz visible. Las imágenes de cámaras de mano pueden ayudar a describir la luz. Los datos cuantitativos sobre el resplandor efectivo del cielo deberán recopilarse, si es posible, de manera biológicamente significativa, reconociendo las dificultades técnicas para obtener estos datos. Véase [Medición de la luz biológicamente relevante](#) para su examen.

Cuadro 5 Información biológica mínima recomendada necesaria para evaluar la importancia de una población de tortugas marinas y su comportamiento efectivo, señalando que la evaluación de riesgos guiará el alcance del seguimiento (p. ej., una gran fuente de luz visible en una escala espacial amplia requerirá un seguimiento de múltiples sitios, mientras que una fuente de luz localizada más pequeña requerirá tal vez el seguimiento de un menor número de sitios).

Clase de edad del objetivo	Actividad de estudio	Duración	Referencia
Anidación de adultos	<p>Censo de seguimiento diario de 1–1,5 ciclos de interanidación en el punto máximo⁵⁷ de la temporada de anidación (14-21 días).</p> <p>Si no se ha determinado el período de máxima anidación para esta población/en este lugar, se deberá realizar un estudio en consulta con un biólogo de tortugas cualificado para determinar el alcance temporal de la actividad (es decir, censos mensuales sistemáticos durante un período de 12 meses).</p>	Mínimo dos temporadas de reproducción	<p>Eckert et al (1999)⁸⁵</p> <p>Pendoley et al (2016)⁸⁶</p> <p>Queensland Marine Turtle Field Guide</p> <p>North West Shelf Flatback Turtle Conservation Plan Turtle Monitoring Field Guide</p> <p>SWOT Minimum Data Standards for Sea Turtle Nesting Beach Monitoring</p> <p>Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas</p>
Orientación de las crías	<p>Mínimo de 14 días durante una fase de luna nueva unos 50 días* después Período de máxima anidación de adultos.</p> <p>Playa: Seguimiento de crías.</p> <p>En el agua: Seguimiento de crías</p>	Mínimo dos temporadas de reproducción	<p>Pendoley (2005)⁶³</p> <p>Kamrowski et al (2014)²⁶</p> <p>Witherington (1997)⁸⁷</p> <p>Thums et al (2016)¹⁶</p>

*El tiempo de incubación será el específico de la población.

Para comprender el comportamiento efectivo de las crías, será necesario realizar un seguimiento (o un enfoque análogo) para determinar la capacidad de las crías de localizar el océano y orientarse en alta mar antes de proceder a la realización de mejoras de construcción/iluminación.

Un programa de seguimiento bien diseñado permitirá obtener la información siguiente:

- comportamiento de las crías^{26,63,87} en la playa expuesta a la luz y en una playa de control/referencia (Witherington, 1997; Pendoley, 2005; Kamrowski et al., 2014);
- comportamiento de las crías antes de que se comience la construcción del proyecto para establecer un punto de referencia para determinar posibles cambios durante la construcción y el funcionamiento.
- comportamiento de las crías en período de luna nueva, a fin de reducir la influencia de la luz de la luna y tomar nota de posibles efectos de la luz artificial en el peor de los casos en la orientación de las crías.
- comportamiento de las crías en las noches de luna llena para evaluar la contribución relativa de la luz artificial a la iluminación efectiva del cielo nocturno.

Posiblemente, un ecologista/bioestadístico cuantitativo habrá establecido un diseño de estudio para asegurar que los datos recopilados permitan realizar un análisis e interpretación significativos de los resultados.

Fase 3: Evaluación de riesgos

La gestión de la luz deberá asegurar que las tortugas no sean desplazadas del hábitat fundamental para su supervivencia y que las actividades antropogénicas en hábitats importantes se gestionen de forma que pueda continuar el comportamiento biológicamente importante. Estas consecuencias deberán tenerse en cuenta en el proceso de evaluación de riesgos. La finalidad de estas Directrices es lograr una gestión de la luz que asegure que en las playas de anidación importantes las hembras continúen anidando en la playa, que las hembras que hayan anidado regresen al océano sin problemas, que las crías que emergen se orienten hacia el mar y las crías en dispersión puedan orientarse sin dificultades en alta mar.

Se deberá examinar la importancia relativa del lugar para la anidación. Por ejemplo, si se trata del único lugar en el que anida una población, deberá atribuirse una calificación consecucional más alta a los efectos de la luz artificial.

Al considerar los posibles efectos de la luz en las tortugas, en la evaluación de riesgos deberá tenerse en cuenta el entorno de luz existente, el diseño de iluminación y la mitigación/gestión propuestos, así como el comportamiento de las tortugas en el lugar. Se deberá considerar en qué modo percibirán la luz las tortugas. A este propósito se deberá incluir información sobre la longitud de onda, intensidad, y perspectiva de la luz. Para evaluar si es probable -y en qué modo- que las tortugas vean la luz, se deberá realizar una visita al lugar por la noche y ver el área desde la playa (aproximadamente a 10 cm por encima de la arena), ya que será esta la perspectiva de las tortugas que anidan y las crías que emergen. Asimismo, se deberá considerar en qué modo las tortugas (tanto adultas como crías) verán la luz cuando estén en aguas cercanas a la costa.

Utilizando esta perspectiva, se deberán examinar el tipo y la cantidad de luces para evaluar si es probable que las tortugas puedan percibir la luz y las consecuencias probables de la luz en su comportamiento. En la evaluación de riesgos se deberá tener en cuenta la mitigación y gestión propuestas.

Fase 4: Plan de gestión de la luz

En el plan de gestión de la luz en relación con las tortugas marinas se deberá incluir toda la información pertinente del proyecto (Fase 1) y la información biológica (Fase 2). Se deberá describir la mitigación propuesta. Para una variedad de medidas de mitigación específicas, véase [Conjunto de opciones de mitigación de la luz para las tortugas marinas](#) más adelante. En el plan se deberá describir también el tipo y el cronograma del seguimiento biológico y de la luz para asegurar que la mitigación cumpla con los objetivos del plan y los mecanismos para revisar la fase de evaluación de riesgos de la EIA.

En el plan se deberán describir las opciones de imprevistos si el estudio biológico y de la luz o las auditorías de cumplimiento indican que la mitigación no está cumpliendo con los objetivos del plan (p. ej., la luz es visible en la playa de anidación o se observan cambios en el comportamiento de anidación/eclosión).

Fase 5: Seguimiento biológico y auditoría de la luz

El éxito de la mitigación de riesgos y la gestión de la luz deberá confirmarse mediante el seguimiento y la auditoría de cumplimiento. Los resultados deberán utilizarse para documentar una mejora constante.

El seguimiento biológico pertinente se describe en la [Fase 2: Describir la población y el comportamiento de las tortugas marinas](#) supra. Deberá realizarse e interpretarse el seguimiento paralelo de la luz en el contexto de cómo perciben las tortugas la luz y teniendo en cuenta las limitaciones de las técnicas de seguimiento descritas en [Medición de la luz biológicamente relevante](#). Deberá realizarse asimismo la [Auditoría de la luz](#), tal como se describe en el plan de gestión de la iluminación

Examen

En la EIA se deberá incorporar un proceso de examen de la mejora constante que permita realizar mitigaciones mejoradas, cambios en los procedimientos y la renovación del plan de gestión de la luz.

Conjunto de opciones de mitigación de la luz para las tortugas marinas

El diseño y controles de la iluminación apropiados, así como la mitigación del impacto de la luz serán específicos del lugar/proyecto y de la especie. En el Cuadro 6 se proporciona un Conjunto de opciones para su uso en relación con hábitats importantes para las tortugas. Estas opciones se aplicarían además de los seis principios de [Mejores prácticas en el diseño de la iluminación](#). No todas las opciones de mitigación serán pertinentes para todas las situaciones. En el Cuadro 7 se proporciona una lista propuesta de tipos de luz apropiados para utilizar cerca de las playas de anidación de tortugas y aquellos que se deberán evitar.

Dos de los enfoques más eficaces para la gestión de la luz cerca de las playas de anidación importantes es asegurarse de que haya un horizonte alto y oscuro detrás de la playa, tales como dunas y/o una pantalla de vegetación natural, y asegurarse también de que no haya luz en o alrededor del agua a través del cual se dispersan las crías.

Cuadro 6 Opciones de gestión de la luz específicas para las playas de anidación de tortugas marinas.

Medidas de gestión	Información detallada
Aplicar medidas de gestión de la iluminación durante la temporada de anidación y eclosión.	Debe determinarse el pico de la temporada de anidación
Evitar que la luz directa ilumine una playa de anidación o el océano adyacente a una playa de anidación.	Las tortugas adultas anidan en menor número en las playas iluminadas ¹⁴ (Price et al., 2018).
Mantener una pantalla de dunas y/o vegetación entre el hábitat de anidación y las fuentes de luz del interior.	Las crías se orientan hacia el océano arrastrándose lejos del horizonte alto y oscuro proporcionado por una línea de dunas y/o una pantalla de vegetación.
Mantener una zona oscura entre la playa de anidación de las tortugas y la infraestructura industrial.	Evitar toda instalación de luces artificiales a menos de 1,5 km de una zona de desarrollo industrial ⁷⁸ (Pendoley y Kamrowski, 2015b).
Instalar las luminarias lo más cerca posible del suelo.	Toda iluminación nueva deberá instalarse cerca del suelo y deberá reducirse en la medida de lo posible la altura de las luces existentes, a fin de reducir al mínimo el derrame de luz y el resplandor de la misma.
Utilizar toques de queda para la gestión de la iluminación.	Gestionar las luces artificiales utilizando sensores de movimiento y temporizadores en torno a las playas de anidación después de que oscurezca
Orientar las luces hacia abajo y dirigir las lejos de las playas de anidación.	Dirigir la luz a la superficie exacta que requiere iluminación. Apantallar las luces para evitar que la luz se derrame en la atmósfera y fuera de la huella del área objetivo.
Utilizar luces intermitentes en lugar de luces fijas.	Por ejemplo, se pueden utilizar pequeñas luces rojas intermitentes para señalar una entrada o delinear un
Utilizar sensores de movimiento para encender las luces solo cuando sea necesario.	Por ejemplo, los sensores de movimiento podrían utilizarse para áreas peatonales cerca de una playa de anidación.
Evitar que la iluminación de interiores llegue a la playa.	Utilizar pantallas de ventana fijas para ventanas o tintes para ventanas fijas, tragaluces y balcones para contener la luz dentro de los edificios.
Limitar el número de áreas de acceso a la playa o construir el acceso a la playa de forma que la luz artificial no sea visible a través del punto de acceso.	Los puntos de acceso a la playa determinan a menudo un corte en las dunas o la vegetación que protege la playa de la luz artificial. Limitando el número de puntos de acceso o haciendo que el camino de acceso pase a través de la vegetación, se puede mitigar el derrame de luz proveniente de la pantalla.
Colaborar colectivamente con los vecinos propietarios de industrias/tierras privadas para abordar los efectos acumulativos de las luces artificiales.	El resplandor problemático del cielo no puede ser causado por un propietario/gerente de la luz. Colaborando con otras industrias/partes interesadas para abordar la contaminación lumínica, se podrán reducir más eficazmente los efectos de la luz artificial.
Gestionar la luz artificial en el mar, incluso en las embarcaciones, malecones, marinas e infraestructuras situadas mar adentro.	Las crías son atraídas y atrapadas por la luz que se derrama en el agua.

<p>Reducir la iluminación innecesaria en el mar.</p>	<p>Reducir las luces de cubierta de las embarcaciones al mínimo requerido para la seguridad humana y cuando no sea necesario. Limitar la iluminación nocturna a las luces de navegación únicamente. Utilizar persianas en las ventanas</p>
<p>Evitar que brille la luz directamente sobre los palangres y/o se iluminen los cebos en el agua.</p>	<p>La luz en el agua puede atraer a las crías o retrasar su tránsito a través de aguas cercanas a la costa, consumiendo sus reservas de energía y exponiéndolas probablemente a depredadores.</p>
<p>Evitar luces que contengan luz violeta/azul de onda corta.</p>	<p>Las luces ricas de luz azul pueden incluir: halogenuros metálicos, fluorescentes, halógenos, vapor de mercurio y la mayor parte de luces LED.</p>
<p>Evitar LED blancos.</p>	<p>Pedir a los proveedores luces LED con poca o ninguna luz azul o utilizar solo LED filtrados para bloquear la luz azul. Esta característica se puede comprobar examinando la curva de potencia espectral de la luminaria.</p>
<p>Evitar luces de alta intensidad de cualquier color.</p>	<p>Mantener la intensidad de luz lo más baja posible en las proximidades de las playas de anidación. Las crías pueden ver todas las longitudes de onda de la luz y se sentirán atraídas por la luz ámbar y roja de longitud de onda larga, así como la luz blanca y azul altamente visible, especialmente si hay una gran diferencia entre la intensidad de la luz y el ambiente oscuro de la playa</p>
<p>Apantallar las antorchas de gas y ubicarlas tierra adentro y lejos de la playa de anidación.</p>	<p>Gestionar las emisiones de luz de las antorchas de gas: reduciendo el flujo de gas para reducir al mínimo las emisiones de luz; apantallando la llama colocándola detrás de una estructura de contención; elevando el resplandor de la antorcha apantallada más de 30° por encima del campo de visión de las crías; conteniendo la llama piloto de las antorchas dentro de la protección de pantalla; y programar actividades de mantenimiento que requieran que la antorcha arda fuera de la temporada de cría de las tortugas.</p>
<p>Las instalaciones industriales/portuarias u otras instalaciones que requieran luz nocturna intermitente para las inspecciones deberán mantener el sitio oscuro e iluminar solo áreas específicas cuando sea necesario.</p>	<p>Utilizar luces LED ámbar/naranja a prueba de explosión con controles de iluminación inteligentes y/o sensores de movimiento. Las luces LED no tienen limitaciones de calentamiento o enfriamiento, por lo que pueden permanecer apagadas hasta el momento necesario y proporcionar luz instantánea cuando se necesite para inspecciones nocturnas de rutina o en caso de emergencia</p>
<p>Que los operadores de plantas/sitios industriales utilicen linternas frontales.</p>	<p>Considerar la posibilidad de dotar a los operadores de la planta linternas frontales de luz blanca (hay a disposición linternas a prueba de explosión) para situaciones en que se necesite luz blanca a fin de detectar el color correctamente o cuando hay una evacuación de emergencia.</p>
<p>Dotar la iluminación de seguridad del perímetro de la instalación con sistemas de detección de infrarrojos supervisados por computadora.</p>	<p>Se puede utilizar la iluminación perimetral si se requiere iluminación nocturna, pero permaneciendo apagada en otros momentos.</p>

Ninguna fuente de luz deberá ser visible directamente desde la playa.	Cualquier luz que sea directamente visible para una persona en una playa de anidación será visible para una tortuga anidadora o una cría, por lo que deberá modificarse para evitar que se vea.
Gestionar la luz proveniente de fuentes regionales remotas (hasta 20 km de distancia).	Examinar las fuentes de luz situadas hasta una distancia de 20 km de la playa de anidación, evaluar la visibilidad relativa y la escala del cielo nocturno iluminado por la luz. ¿Se trata p. ej., de una ciudad regional que ilumina una gran área del horizonte y qué medidas de gestión se pueden adoptar a nivel local para reducir sus efectos, es decir, proteger o mejorar los sistemas de dunas o la protección mediante la vegetación en la dirección de la luz?

Cuadro 7 En este cuadro, para casos en que se hayan agotado todas las demás opciones de mitigación y haya necesidad de luz artificial para la seguridad humana, se proporcionan tipos de luminarias comerciales que se consideran apropiadas para su uso cerca de importantes hábitats de anidación de tortugas marinas y aquellas que se deberán evitar.

Tipo de luz	Idoneidad para su uso cerca del hábitat de tortugas marinas
Vapor de sodio de baja presión	✓
Vapor de sodio de alta presión	✓
LED filtrado*	✓
Halogenuro metálico filtrado*	✓
LED blanco filtrado*	✓
LED ámbar	✓
Ámbar PC	✓
LED blanco	✗
Halogenuro metálico	✗
Fluorescente blanco	✗
Halógeno	✗
Vapor de mercurio	✗

Filtrado* significa que las luces LED *solo* se pueden utilizar si se aplica un filtro para eliminar la luz de longitud de onda corta (<500 nm).

Apéndice G - Aves marinas

Las aves marinas pasan la mayor parte de su vida en el mar y llegan a tierra solo para anidar. Muchas especies son vulnerables a los efectos de la iluminación. Las aves marinas activas durante la noche mientras migran, se alimentan o regresan a las colonias están expuestas a máximos riesgos.

Las crías se ven más afectadas por la iluminación artificial que los adultos, debido al éxodo masivo sincronizado de las crías de sus sitios de anidación. Pueden verse afectadas por las luces a una distancia de hasta 15 km.

Los impactos más habituales de la luz sobre las aves marinas incluyen la desorientación y la atracción, lo que tiene como resultado colisiones y/o tomas de tierra que causan efectos negativos directos o indirectos.

Los aspectos físicos de la luz que influyen en mayor medida en las aves marinas son la intensidad y el color (longitud de onda) aparte de la reducción del alcance espaciotemporal de la luz artificial. Consecuentemente, será la gestión de estos aspectos de la luz artificial lo que proporcionará los resultados más eficaces.

Las aves marinas son aves que se han adaptado a la vida en el medio marino (Figura 28). Pueden ser altamente pelágicas, costeras o, en algunos casos, pueden pasar una parte del año completamente alejados del mar. Se alimentan de productos del océano que se encuentran en la superficie del mar o cerca de ella. En general, las aves marinas viven más tiempo, se reproducen más tarde y tienen menos crías que otras aves y dedican una gran cantidad de energía a sus crías. La mayor parte de las especies anidan en colonias, que pueden variar de tamaño desde unas pocas docenas de aves hasta millones. Muchas especies emprenden largas migraciones anuales, cruzando el ecuador o circunnavegando la Tierra en algunos casos⁸⁸ (Ross et al., 1996).

La luz artificial puede desorientar a las aves marinas y pueden causar lesiones y/o la muerte por colisión con las infraestructuras. en la tierra y el mar. Los impactos indirectos de la luz artificial incluyen una mayor depredación de aves que permanecen en tierra, colisiones con vehículos tras la toma de tierra o anegación y ahogamiento tras colisiones con embarcaciones y la posterior contaminación con químicos a bordo de embarcaciones. El aterrizaje de los polluelos genera una mortalidad especialmente alta de aves marinas de como resultado de la atracción hacia las luces (Rodríguez et al., 2017c).



Figura 28 Pardela paticlara al atardecer. Foto: Richard Freeman.

Estado de conservación

Las especies de aves marinas migratorias están protegidas por tratados y acuerdos internacionales, incluida la Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres (CMS, Convención de Bonn) y algunos de los Acuerdos negociados en su marco, tales como el [Acuerdo sobre la Conservación de Albatros y Petreles \(ACAP\)](#) y el [Acuerdo sobre la Conservación de las Aves Acuáticas Migratorias de África y Eurasia \(AEWA\)](#); la [Convención Ramsar relativa a los Humedales](#); y por la [Asociación de la Ruta Migratoria de Asia Oriental-Australasia \(la Asociación de la Ruta Migratoria\)](#). Muchas aves marinas están también protegidas por la legislación ambiental y nacional.

Hay más de 350 especies de aves marinas que se dividen en nueve órdenes: Procellariiformes (albatros y petreles); Sphenisciformes (pingüinos); Gaviiformes (colimbos); Podicipediformes (somormujos); Anseriformes (aves acuáticas); Phaethontiformes (rabijuncos); Charadriiformes (gaviotas, págalos, rayadores, charranes, falaropos y alcas); Pelecaniformes (pelícanos); y Suliformes (rabihorcados, cormoranes, alcatraces y piqueros) (Votier y Sherley, 2017).

La Lista Roja de la UICN categoriza el 31 % de las especies de aves marinas como amenazadas a nivel mundial (en peligro crítico, en peligro o vulnerables) y el 11 % como casi amenazadas (Dias et al., 2019). Casi la mitad de las especies (47 %) muestran tendencias de disminución de su población.

Distribución y hábitat

Las aves marinas se reproducen en todos los continentes del mundo y utilizan todos los mares y océanos de nuestro planeta. La diversidad y la abundancia de aves marinas, no obstante, varían espacialmente y ambas alcanzan su pico en latitudes más elevadas, y en el Océano Antártico en particular.

Las aves marinas pasan la mayor parte del tiempo en el mar, pero deben regresar a la tierra a reproducirse. Las aves marinas suelen ser vulnerables a la depredación en sus lugares de reproducción, por lo que las aves marinas suelen reproducirse en islas o bancos de arena costeros, pero algunas especies se reproducen tierra adentro en una diversidad de hábitats que incluyen selvas tropicales primarias o desiertos. Tras la reproducción, las aves marinas suelen emprender unas migraciones espectaculares para alejarse de sus zonas de reproducción y algunas recorren amplias distancias atravesando océanos, en ocasiones moviéndose entre hemisferios o incluso circunnavegando el mundo. Las aves marinas pueden verse afectadas por la luz artificial en zonas de reproducción, mientras se alimentan y migran.

A efectos de estas Directrices, un hábitat importante para las aves marinas incluye las zonas designadas como tal en los planes de conservación de la vida silvestre y en asesoramiento en materia de conservación de especies concretas, por ejemplo, Áreas.

Efectos de la luz artificial en las aves marinas

Las aves marinas se han visto afectadas por fuentes de luz artificial durante siglos. Los seres humanos utilizaban el fuego para atraer a las aves marinas y cazarlas para alimentarse⁹¹ y hay informes de colisiones con faros que se remontan a 1880⁹² (Allen, 1880; Murphy, 1936). Más recientemente, la luz artificial relacionada con la rápida urbanización de las zonas costeras se ha traducido en una mayor mortalidad de aves marinas⁹³ (Gineste et al., 2016) y, actualmente, se sabe que 56 especies de petreles en todo el mundo se ven afectadas por la iluminación

artificial^{4,31} (Rodríguez et al., 2017ab). La luz artificial puede desorientar a las aves marinas provocando colisiones, atrapamientos, varamientos, aterrizajes e interferencias con la navegación (desviando el rumbo de la ruta de migración habitual). Estas respuestas de comportamiento pueden causar lesiones y/o la muerte.

Todas las especies activas durante la noche son vulnerables, ya que la luz artificial puede alterar su capacidad de orientarse hacia el mar o incluso atraer a aves del mar hacia la tierra. Además, la atracción hacia las embarcaciones a causa de la luz artificial en el mar puede tener un impacto. Entre las fuentes problemáticas de luz artificial cabe incluir los desarrollos residenciales y hoteleros costeros, el alumbrado público, luces de vehículos, focos de instalaciones deportivas, luces de cubierta de embarcaciones y luces de búsqueda, buques de cruceros, embarcaciones de pesca, antorchas de gas, embarcaciones comerciales de pesca de calamares, iluminaciones de seguridad, ayudas y faros de navegación^{31,93,99} (Ainley et al., 2001; Black, 2005; Raine et al., 2007; Merkel y Johansen, 2011; Rodríguez et al., 2012; Gineste et al., 2016; Deppe et al., 2017; Rodríguez et al., 2017b; Fischer et al., 2021; Departamento de Conservación y Pesquerías de Nueva Zelanda, 2023).

Las aves marinas, en particular las especies de petreles del Océano Austral, pueden desorientarse por la iluminación de las embarcaciones que causa colisiones y posteriores lesiones o la muerte y pueden aterrizar en cubierta, desde donde no pueden despegar. El efecto de la luz artificial puede verse agravado por la fase lunar⁹⁶, la dirección y fuerza del viento^{28,100}, las precipitaciones, la nubosidad y la proximidad de los sitios de anidación o de migración a las fuentes de luz artificial¹⁰¹⁻¹⁰³ (Troy et al., 2013; Rodríguez et al., 2014; Rodríguez et al., 2015ab; Deppe et al., 2017; Syposz et al., 2018). El grado de alteración depende de una combinación de factores físicos, biológicos y ambientales, así como de la ubicación, la visibilidad, el color y la intensidad de la luz, de su proximidad a otra infraestructura, la topografía del paisaje, la fase lunar, las condiciones atmosféricas y climáticas y las especies en cuestión.

Entre las aves marinas que son activas durante la noche mientras migran, se alimentan o regresan a las colonias y se ven afectadas directamente figuran petreles, pardelas, albatros, aves del género *Anous*, charranes y algunas especies de pingüinos. Menos se han estudiado los efectos de la luz sobre las colonias de Procellariiformes nocturnos, lo que podría conducir a un mayor riesgo de depredación por parte de depredadores de aves (Austad et al., 2023, así como los efectos sobre las especies que son activas durante el día, incluso ampliando sus actividades a la noche, debido a que la luz artificial aumenta el número de horas de luz diurnas percibidas.

Mecanismos por los que la luz afecta a las aves marinas

La mayor parte de las aves marinas son diurnas. Descansan durante las horas de oscuridad y viven menos expuestas a la luz artificial. Entre las especies con un componente nocturno en su ciclo de vida, la luz artificial afecta de manera diferente al adulto y a la cría.

Los adultos se ven menos afectados por la luz artificial que las aves jóvenes con menos experiencia. Muchas especies de Procellariiformes (es decir, pardelas, pañños, petreles tábanos) son vulnerables durante las actividades nocturnas. Las especies adultas de Procellariiformes son vulnerables cuando regresan a la colonia de anidación y cuando la abandonan. Pueden salir o entrar para restablecer sus lazos de pareja con los compañeros de reproducción, reparar madrigueras de anidación, defender sitios de anidación o alimentarse. Los adultos alimentan a sus pollitos regurgitando alimentos parcialmente digeridos¹⁰⁹ (Imber, 1975). La luz artificial interrumpe la atención de los adultos al nido y, por lo tanto, afecta al aumento de peso de los pollitos¹¹⁰ (Cianchetti-Benedetti et al., 2018).

Las crías son más vulnerables debido a la ingenuidad de su primer vuelo, el desarrollo inmaduro de ganglios en el ojo al emplumar y la posible conexión entre la luz y la comida^{104.111} (Montevecchi, 2006; Mitkus et al., 2016). Atchoi et al. (2020) propuso que los polluelos podrían correr un riesgo especial debido a su sistema visual inexperto y sin desarrollar en combinación con su falta de experiencia en estas situaciones. Algunos polluelos consiguen volar sobre zonas con contaminación lumínica y llegar al océano, y no queda claro por qué algunas aves son capaces de hacer esto mientras otras se quedan en tierra (Rodríguez et al., 2022). Podría deberse a factores intrínsecos tales como diferencias en las etapas de desarrollo de los ojos de cada ave (Syposz et al., 2021). Mucha de la bibliografía relativa al efecto de la luz sobre las aves marinas hace referencia al éxodo nocturno masivo sincronizado de los polluelos desde sus lugares de anidación (Reed et al., 1985; Le Corre et al., 2002; Raine et al., 2007; Rodríguez et al., 2015ab; Deppe et al., 2017). Por ejemplo, los polluelos de los Procellariiformes abandonan la colonia de anidación para acercarse al mar durante la noche, volviendo para reproducirse varios años después (Warham, 1990).

Se cree que la salida durante la oscuridad es una estrategia para evitar a los depredadores¹¹⁵ (Reed et al., 1985; Watanuki, 1986), y que la iluminación artificial puede hacer que las crías sean más vulnerables a la depredación¹¹³. Se considera que las luces artificiales anulan las señales de búsqueda del mar que proporcionan la luz de la luna y las estrellas en el horizonte¹¹⁶ y las crías pueden volver al verse atraídas a las luces situadas en tierra después de haber llegado al mar^{28.105} (Telfer et al., 1987; Podolsky et al., 1998; Rodríguez et al., 2014). Es posible que las crías que sobreviven a su migración mar adentro no logren imprimir el recuerdo de su colonia natal, lo que les impide regresar al nido cuando maduren⁹⁸. Las consecuencias de la exposición a la luz artificial sobre la viabilidad de una población reproductora de aves marinas¹¹⁷ merecen un mayor estudio (Griesemer y Holmes, 2011).

Estructura y sensibilidad de los ojos

Las aves marinas, como la mayor parte de los vertebrados, tienen un ojo que está bien adaptado para percibir los colores. Normalmente, las aves diurnas tienen seis células fotorreceptoras que son sensibles a diferentes regiones del espectro visible¹¹⁸ (Vorobyev, 2003). Todas las aves marinas son sensibles a la región azul-violeta del espectro visible (380 - 440 nm)¹¹⁹. Los ojos de la tiñosa menuda (*Anous minutus*) y pardelas del Pacífico (*Ardenna pacifica*), se caracterizan por una elevada proporción de conos sensibles a longitudes de onda más cortas¹²⁰ (Hart, 2001). Es probable que esta adaptación se deba a la necesidad de poder ver bajo el agua, y la longitud de onda óptima para la visión en aguas oceánicas de color azul claro se encuentra entre 425 y 500 nm. No hay ninguna ventaja ecológica en tener muchos fotorreceptores sensibles a longitudes de onda largas en especies que se alimentan en este hábitat¹²⁰ (Hart, 2001).

Muchas aves diurnas pueden ver en el rango de los rayos ultravioleta (menos de 380 nm)¹²¹ (Bowmaker et al., 1997), si bien, de las 300 especies de aves marinas, solo unas pocas tienen visión sensible a los rayos ultravioleta¹¹⁹ (Capuska et al., 2011). En todas las aves marinas, su visión fotópica (adaptada a la luz del día) es más sensible en el rango de longitud de onda larga del espectro visible (590 - 740 nm, naranja a rojo) mientras que su visión escotópica (adaptada a la oscuridad) es más sensible a las longitudes de onda cortas de la luz (380 - 485 nm, violeta a azul) (Capuska et al., 2011).

La visión de los petreles es más sensible a la luz de longitud de onda corta azul (400 - 500 nm), región del espectro visible. En comparación con las aves marinas diurnas, como las gaviotas y los charranes, los petreles tienen un mayor número de conos sensibles a la longitud de onda

corta. Se cree que esta es una adaptación que aumenta la visibilidad de la presa frente a un campo de alimentación de agua azul que favorece a los petreles¹²⁰.

Se ha publicado poco sobre la visión de los pingüinos. Los pingüinos practican el forrajeo visual y el éxito de la captura de peces está directamente relacionado con la cantidad de luz presente¹²² (Cannell y Cullen, 1998). Los ojos del pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) están adaptados al medio acuático, por lo que ven bien en la región del espectro de violeta a azul a verde, pero escasamente en las longitudes de onda largas (rojo)¹²³ (Bowmaker y Martin, 1985).

Longitud de onda, intensidad y dirección

La intensidad de la luz puede ser una indicación más importante que el color para las aves marinas. Son atraídas por la luz muy brillante, independientemente del color⁹⁸ (Raine et al., 2007). En numerosos informes, aunque a veces contradictorios, se hace referencia al atractivo de las diferentes longitudes de onda de luz artificial para las aves marinas. La luz blanca es la que produce mayores efectos sobre las aves marinas, debido a que contiene todas las longitudes de onda de luz^{7,96,124} (Wiltschko y Wiltschko, 1999; Rich y Longcore, 2006; Deppe et al., 2017). Según los informes, las aves marinas se ven atraídas por el color amarillo/naranja del fuego⁹¹, mientras que el vapor de mercurio blanco y las luces LED de amplio espectro son más atractivos para el petrel de Barau (*Pterodroma barau*) y la pardela de Hutton (*Puffinus huttoni*) que las luces de vapor de sodio de baja o alta presión⁹⁶ (Deppe et al., 2017). Las luces blancas brillantes de cubierta y los focos de los barcos de pesca atraen a las aves marinas por la noche, especialmente en noches con poca luz de luna o poca visibilidad^{95,97,104} (Black, 2005; Montevecchi, 2006; Merkel y Johansen, 2011).

Se realizó un experimento de campo controlado con las pardelas de Tasmania en la isla de Phillip para ver el efecto de las luces de halogenuro metálico, LED y HPS en los aterrizajes de las crías³² (Rodríguez et al., 2017b). Los resultados sugirieron que las pardelas eran más sensibles al espectro de emisión más amplio y al mayor contenido de azul de los halogenuros metálicos y las luces LED en comparación con la luz HPS. Los autores recomendaron encarecidamente el uso de HPS, o luces LED filtradas y de halogenuro metálico con luces LED especialmente diseñadas y filtradas para eliminar la luz de longitud de onda corta para su uso en las proximidades de colonias de pardelas³².

En los primeros estudios de pingüinos expuestos a luz artificial en un sitio naturalmente oscuro se observó que preferían vías iluminadas con respecto a las vías oscuras para llegar a sus nidos¹²⁵ (Rodríguez et al., 2018). Si bien la luz artificial puede mejorar la visión de los pingüinos por la noche, y facilitándoles la búsqueda de su camino, la atracción constatada por la luz podría desviarlas a áreas iluminadas no convenientes. En el estudio se concluyó que los pingüinos estaban habituados a las luces artificiales y no se veían afectados por un aumento de 15 lux en la iluminación artificial¹²⁵. No obstante, los autores no pudieron descartar posibles efectos de la luz artificial en el comportamiento de los pingüinos, debido a las diferencias naturales entre los sitios; a la complejidad potencial de la respuesta de los pingüinos a la interacción entre la luz artificial y la luz de la luna; y al hecho probable de que los pingüinos estuvieran habituados a las luces artificiales.

Evaluación del impacto ambiental de la luz artificial en las aves marinas

Como mínimo, en la infraestructura con iluminación artificial visible desde el exterior deberán haberse aplicado las [Mejores prácticas en el diseño de la iluminación](#). Cuando haya un hábitat importante para las aves marinas en el radio de 20 km de un proyecto, se deberá realizar una Evaluación del Impacto Medioambiental EIA. En las secciones que figuran a continuación se explica el [proceso de EIA](#) con una consideración específica para las aves marinas.

La zona de amortiguación de 20 km en consideración de la presencia de un hábitat importante de aves marinas se basa en la observación del aterrizaje de las aves marinas en respuesta a una fuente de luz situada al menos a 15 km de distancia²⁸ (Rodríguez et al., 2014).

Las características espaciales y temporales de los corredores migratorios son importantes para algunas especies de aves marinas. Las especies suelen utilizar rutas migratorias establecidas en momentos previsibles, por lo que deberá evaluarse toda luz artificial que intersecte una ruta migratoria aérea, al igual que para las poblaciones terrestres.

Ante la probabilidad de que la luz artificial afecte a las aves marinas, deberá examinarse la posibilidad de aplicar medidas de mitigación lo antes posible en la elaboración de un proyecto y utilizarlas para documentar la fase de diseño.

Orientaciones sobre el tema

[Acuerdo sobre la Conservación de Albatros y Petreles \(ACAP\)](#)

Personal cualificado

El diseño/gestión de la iluminación y el proceso de EIA deberán ser realizados por personal debidamente cualificado. Los planes de gestión de la iluminación deberán ser elaborados y revisados por profesionales de la iluminación debidamente cualificados en consulta con ornitólogos marinos y/o ecólogos debidamente capacitados. Las personas que asesoran sobre la elaboración de planes de gestión de la iluminación o la preparación de informes de evaluación de los efectos de la luz artificial en las aves marinas, deberán estar dotadas de calificaciones académicas pertinentes equivalentes a una educación terciaria en ornitología, o de experiencia equivalente probada por publicaciones revisadas por expertos en los últimos cinco años sobre un tema pertinente u otra experiencia análoga pertinente.

Fase 1: Describir la iluminación del proyecto

El tipo de información recopilada durante esta fase deberá incluir el examen del [Impacto biológico de la luz en las aves marinas](#). Las aves marinas son susceptibles a estos efectos cuando están activas durante la noche, mientras migran, cuando buscan el alimento o cuando regresan a las colonias. Se deberá examinar la ubicación y la fuente de luz (tanto directa como la proveniente del resplandor del cielo) en relación con las áreas de reproducción y alimentación. Las aves marinas son sensibles tanto a la luz de onda corta (azul/violeta). No obstante, puede que la intensidad de las luces sea más importante que el color.

Fase 2: Describir la población y el comportamiento de las aves marinas.

Se deberán describir las especies, la fase de vida y el comportamiento de las aves marinas presentes en el área de interés. En la descripción se deberá incluir el estado de conservación de la especie; la abundancia de aves; importancia regional de la población; y estacionalidad de las aves marinas que utilizan el área.

Se puede encontrar información pertinente sobre las aves marinas en: asesoramiento de conservación pertinente; planes de conservación de la fauna silvestre pertinentes; literatura científica; y conocimientos locales/indígenas.

Cuando no haya suficientes datos disponibles para comprender la importancia de la población o la demografía, o cuando sea necesario documentar el comportamiento efectivo de las aves marinas, puede que sea necesario realizar estudios sobre el terreno y hacer un seguimiento biológico.

Seguimiento biológico de las aves marinas

Todo estudio biológico relacionado con un proyecto deberá ser elaborado, supervisado y los resultados interpretados por un biólogo o un ornitólogo debidamente cualificado para asegurar la fiabilidad de los datos.

Los objetivos del seguimiento en un área que pueda verse afectada por la luz son:

- comprender el uso del hábitat y el comportamiento de la población (p. ej., migración, búsqueda de alimento, reproducción)
- comprender el tamaño y la importancia de la población
- describir el comportamiento de las aves marinas antes de la introducción/mejora de la luz.

Los datos se utilizarán para documentar el proceso de EIA y evaluar si las medidas de mitigación son satisfactorias. En la Cuadro 8 se resumen los parámetros mínimos de seguimiento sugeridos (lo que se mide) y las técnicas (cómo se miden).

Cuadro 8 Información biológica mínima necesaria recomendada para evaluar la importancia de una población de aves marinas. Nota: la información contenida en este Cuadro no es prescriptiva y deberá evaluarse caso por caso.

Clase de edad del objetivo	Actividad de estudio	Duración	Referencia
Anidación de adultos	<p>Especies que anidan en madrigueras coloniales o en superficie con sitios de anidación fijos o transitorios, un solo seguimiento programado para que coincida con el período de puesta máxima de huevos previsto.</p> <ul style="list-style-type: none"> Mínimo tres áreas de muestreo (transectos/cuadrantes) apropiadas para una densidad de nidos que permita abarcar ~ 100 nidos por transecto. Estado de los nidos registrados (utilizados/no utilizados - fase de pollito). <p>Especies transitorias que anidan en superficie: estimación de pollitos en los criaderos utilizando imágenes aéreas o de drones.</p> <ul style="list-style-type: none"> Mínimo tres áreas de muestreo (transectos/cuadrantes) apropiadas para una densidad de nidos que permita abarcar ~ 100 nidos por transecto. Estado de los nidos registrados (utilizados/no utilizados - fase de huevo o pollito). 	Mínimo dos temporadas de reproducción	<p>Henderson y Southwood (2016)¹²⁶</p> <p>Surman y Nicholson (2014)¹²⁷</p> <p>Directrices para el estudio de las aves amenazadas de Australia¹²⁸</p>
Crías	En madrigueras coloniales de anidación o especies de anidación en superficie con sitios de anidación fijos, un solo estudio para que coincida con el período máximo de crías previsto.	Mínimo dos temporadas de reproducción	<p>Henderson y Southwood (2016)¹²⁶</p> <p>Surman y Nicholson (2014)¹²⁹</p>

Seguimiento adicional de las aves marinas

- Llevar a cabo un seguimiento del comportamiento de la fase de cría antes de que en el proyecto se comience a establecer un punto de referencia para evaluar los cambios en el comportamiento de la fase de cría durante la construcción y el funcionamiento.
- Hacer un seguimiento de las caídas evaluando las colonias reproductoras antes de la fase de cría para evaluar el rendimiento/esfuerzo de reproducción anual y determinarlo con referencia a las caídas (se espera con mayor número en los años de mayor rendimiento reproductivo).
- Instalar cámaras trampa en lugares clave para el seguimiento de las caídas de aves.
- Realizar evaluaciones nocturnas de la iluminación/áreas objetivo, para identificar y recolectar las aves en tierra.
- Realizar observaciones después del anochecer y antes del amanecer con gafas de visión nocturna para evaluar la actividad/interacciones.

- Rastrear los movimientos utilizando un radar terrestre para determinar las rutas de vuelo efectivas⁹⁸ (Raine et al., 2007).

Al mismo tiempo que los datos biológicos, deberán recopilarse también, como mínimo, los datos cualitativos descriptivos sobre los tipos, la ubicación y la directividad de la luz visible. Las imágenes de la cámara de mano pueden ayudar a describir la luz. Los datos cuantitativos sobre el resplandor existente del cielo deberán recopilarse, si es posible, de manera biológicamente significativa, reconociendo las dificultades técnicas para obtener estos datos. Véase [Medición de la luz biológicamente relevante](#) para su examen.

Fase 3: Evaluación de riesgos

El objetivo es gestionar la iluminación de manera que las aves marinas no se vean perturbadas dentro de un hábitat importante o desplazadas fuera del mismo, y que puedan llevar a cabo comportamientos fundamentales, como la búsqueda de alimento, la reproducción y la dispersión. Estas consecuencias deberán tenerse en cuenta en el proceso de evaluación de riesgos. La finalidad de este proceso es asegurar que, en las colonias importantes de aves marinas, el uso de las madrigueras se mantenga constante, los adultos y las crías no queden en tierra y las crías emprendan el vuelo satisfactoriamente desde la colonia.

Al considerar los posibles efectos de la luz en las aves marinas, en la evaluación se deberá tener en cuenta la información recopilada y cotejada sobre las aves marinas y la iluminación, lo que incluye el entorno de luz existente, el diseño de iluminación propuesto y su mitigación/gestión, así como el comportamiento in situ de las aves marinas. Se deberá tener en cuenta asimismo en qué modo perciben las aves la luz. En esta evaluación se deberá incluir también la información y perspectivas tanto de la longitud de onda como de la intensidad de la luz. Para saber en qué modo o si es probable que las aves marinas vean la luz, se deberá realizar una visita al sitio por la noche. Asimismo, se deberá examinar en qué modo las aves marinas verán la luz cuando estén en vuelo.

Utilizando esta perspectiva, se deberá examinar/modelar el tipo y la cantidad de luces para determinar si es probable que las aves marinas perciban la luz y cuál es la consecuencia probable de la luz en su comportamiento.

Fase 4: Plan de gestión de la luz

En el plan deberá incluirse toda la información pertinente del proyecto (Fase 1) así como la información biológica (Fase 2). Se deberá describir la mitigación propuesta. Puede obtenerse una variedad de medidas de mitigación específicas para las aves marinas, consultando el capítulo [Conjunto de opciones de mitigación de la luz para las aves marinas](#) a continuación. En el plan se deberá describir también el tipo y el cronograma de seguimiento biológico y de la luz para asegurar que la mitigación cumpla con los objetivos del plan y los mecanismos para revisar la fase de evaluación de riesgos de la EIA. En el plan se deberán describir las opciones en caso de imprevistos, si el estudio biológico y de la luz o las auditorías de cumplimiento indican que la mitigación no está cumpliendo los objetivos establecidos (p. ej., la luz se mitiga de manera adecuada y sus impactos no se reducen).

Fase 5: Seguimiento biológico y auditoría de la luz

El éxito de la mitigación del impacto y la gestión de la luz deberán confirmarse mediante el seguimiento y la auditoría de cumplimiento, y los resultados deberán utilizarse para facilitar un enfoque de gestión adaptativa, a fin de asegurar la mejora continua.

El seguimiento biológico pertinente se describe en la [Fase 2](#) anterior: [Describir la población de aves marinas](#). Se deberá emprender un estudio simultáneo de la luz e interpretarlo en el contexto de cómo perciben las aves marinas la luz y dentro de las limitaciones de las técnicas de estudio descritas en [Medición de la luz biológicamente relevante](#). Se deberá realizar una [Auditoría](#), conforme se describe en el plan de gestión de la luz.

Fase 6: Examen

En la EIA se deberá incorporar un proceso de examen de la mejora constante que permita realizar mitigaciones mejoradas, cambios en los procedimientos y la renovación del plan de gestión de la luz.

Conjunto de opciones de mitigación de la luz para las aves marinas

El diseño y los controles apropiados de la iluminación, así como la mitigación de los efectos de la luz serán específicos del sitio/proyecto y de la especie. En el Cuadro 9 se proporciona un conjunto de opciones de gestión pertinentes para las aves marinas. Estas opciones deberán aplicarse además de los seis principios de [Mejores prácticas en el diseño de la iluminación](#). No todas las opciones de mitigación serán viables para cada proyecto. En el Cuadro 10 se proporciona una lista propuesta de tipos de luz apropiados para su uso cerca de las colonias de aves marinas importantes y aquellos que se deberán evitar.

En un examen exhaustivo de los efectos de las luces artificiales terrestres en las aves marinas y las técnicas de mitigación se observó que las medidas más eficaces eran:

- apagar las luces durante los períodos de desarrollo de las crías
- modificar las longitudes de onda de la luz
 - eliminar las luces exteriores y cerrar las persianas de las ventanas para bloquear las luces interiores

- apantallar la fuente de luz e impedir el derrame de luz hacia arriba
- reducir los límites de velocidad del tráfico y exponer señales de advertencia.
- aplicar un programa de rescate de las aves que se han posado en tierra⁴ (Rodríguez et al., 2017c).

Otras medidas de mitigación adicionales de las que no se ha evaluado su eficacia eran:

- utilizar luces giratorias o intermitentes, porque, según las investigaciones las aves marinas se sienten menos atraídas por las luces intermitentes que por la luz constante
- mantener la intensidad de la luz lo más baja posible. Las mayores tasas de aterrizajes de aves se observan en áreas muy iluminadas⁴ (Rodríguez et al., 2017c)

Cuadro 9 Opciones de gestión de la luz para las aves marinas.

Medidas de gestión	Información detallada
Aplicar medidas de gestión durante la temporada de cría.	La mayor parte de las especies de aves marinas anidan durante la primavera y el verano australes. Las medidas de gestión de la luz deberán aplicarse durante los períodos de anidación y de cría
Mantener una zona oscura entre la colonia y las fuentes de luz.	Evitar que se instalen luces exteriores a menos de tres kilómetros de una colonia de aves marinas, o gestionar toda la iluminación exterior existente ¹⁰² . Esta es la distancia media entre las ubicaciones de los nidos y los lugares de aterrizaje de las aves. Evitar la instalación de luces en esta zona contribuiría a reducir en un 50% el número de aves que aterrizan. (Rodríguez et al., 2015b).
Apagar las luces durante la temporada de desarrollo de las crías.	Si no es posible apagar las luces, considerar, opciones de atenuación o variaciones de los espectros de luz preferiblemente para reducir las emisiones azules). Los períodos de luna nueva y cuando las condiciones sean lluviosas o nubladas son períodos de riesgo elevado y cuando los esfuerzos de mitigación deberían aumentarse.
Utilizar toques de queda para la gestión de la iluminación.	Apagar las luces alrededor de la colonia en el período de desarrollo de las crías, ya que las crías abandonan su nido al anochecer.
Orientar las luces hacia abajo y dirigir las lejos de las playas de anidación.	Orientar la luz solo hacia la superficie que se ha de iluminar. Aplicar pantallas para evitar que la luz se derrame en la atmósfera y fuera del perímetro del área objetivo.
Utilizar luces intermitentes en lugar de luces fijas.	Por ejemplo, se pueden utilizar pequeñas luces rojas intermitentes para señalar una entrada o delinear un camino.

<p>Utilizar sensores de movimiento para encender las luces solo cuando sea necesario.</p>	<p>Utilizar sensores de movimiento para el alumbrado público o de peatones a menos de tres kilómetros de una colonia de aves marinas, aunque los efectos podrían ampliarse y debería consultarse la última investigación para determinar las distancias.</p>
<p>Evitar que la iluminación de interiores llegue al ambiente exterior</p>	<p>Utilizar pantallas de ventana fijas o tintes para ventanas y tragaluces fijos para contener la luz en el interior de los edificios.</p>
<p>Gestionar la luz artificial en muelles, malecones, marinas, etc.</p>	<p>Las crías y los adultos pueden sentirse atraídos por las luces de las instalaciones marinas y caer al suelo o colisionar con las infraestructuras.</p>
<p>Reducir la iluminación innecesaria de exteriores, de cubierta en todo tipo de embarcaciones y las instalaciones permanentes y flotantes de extracción de petróleo y gas en áreas conocidas de alimentación de aves marinas en el mar.</p>	<p>Apagar las luces exteriores/de cubierta cuando no sean necesarias para la seguridad humana y limitar la iluminación nocturna a las luces de navegación. Utilizar persianas de bloqueo de la luz en todos los ojos de buque y ventanas</p>
<p>La pesca nocturna solo deberá realizarse con una iluminación mínima de cubierta.</p> <p>Evitar que brille la luz directamente sobre las artes de pesca incluidos palangres en el agua.</p> <p>Asegurarse de que la iluminación permita la grabación de cualquier captura incidental, incluso mediante sistemas de seguimiento electrónico.</p>	<p>La noche es el período comprendido entre el crepúsculo y el amanecer náuticos (conforme se define en los cuadros del Almanaque Náutico para la latitud, la hora local y la fecha pertinentes).</p> <p>La luz en el agua durante la noche puede atraer a las aves marinas hacia las artes de pesca desplegadas, lo que aumenta el riesgo de captura incidental de aves marinas (es decir, de matar o herir a las aves).</p> <p>La iluminación mínima de cubierta no deberá violar las normas mínimas de seguridad y navegación.</p> <p>Registrar las colisiones con embarcaciones y la captura incidental y comunicar estos datos a las autoridades regulatorias.</p> <p>Tomar nota de las colisiones o capturas incidentales de aves y notificar estos datos a las autoridades de reglamentación.</p>

<p>Evitar que brille la luz directamente sobre los palangres y/o se iluminen los cebos en el agua.</p>	<p>La luz en el agua puede atraer a las aves y facilitar la detección y el consumo de cebos, aumentando la captura incidental en las actividades de pesca (es decir, de matar o herir a las aves).</p> <p>Tomar nota de las colisiones o capturas incidentales de aves y notificar estos datos a las autoridades de reglamentación.</p>
<p>Los buques que faenan en áreas de alimentación de aves marinas durante la temporada de reproducción deberán aplicar un plan de gestión de aves marinas para evitar el aterrizaje de aves marinas en la embarcación.</p>	<p>Las luces en el mar deberían gestionarse de manera similar a las luces en la tierra para evitar colisiones con embarcaciones (colisiones con o aterrizajes involuntarios en embarcaciones y superestructuras asociadas) y los impactos de las mismas (directos o indirectos).</p> <p>Véase, por ejemplo, la página informativa Seabirds Landing on Ships (Aves marinas que aterrizan en barcos) de la Asociación Internacional de Operadores Turísticos de la Antártida (IAATO)</p>
<p>Utilizar luminarias con contenido espectral apropiado para las especies presentes</p>	<p>Deberá tenerse en cuenta la posibilidad de evitar longitudes de onda específicas que sean problemáticas para las especies de interés. En general, esta medida deberá incluir la disposición de evitar el uso de luces ricas de color azul, aunque algunas aves son sensibles a la luz amarilla y es posible que se requieran otras medidas de mitigación.</p>
<p>Evitar luces de alta intensidad de cualquier color</p>	<p>Mantener la intensidad de la luz lo más baja posible en las cercanías de colonias de aves marinas importante</p>
<p>Apantallar las antorchas de gas y ubicarlas en tierra, lejos de las colonias de aves marinas.</p>	<p>Gestionar las emisiones de luz de las antorchas de gas: reduciendo el flujo de gas para reducir al mínimo las emisiones de luz; apantallando la llama colocándola detrás de una estructura de contención; conteniendo la llama piloto de las antorchas dentro de la protección de pantalla; y programando actividades de mantenimiento que requieran que la antorcha arda fuera de la temporada de reproducción de las pardelas o durante el día.</p>
<p>Reducir al mínimo la quema de la antorcha en las instalaciones de producción de gas y petróleo en alta mar.</p>	<p>Examinar la posibilidad de reinyectar el exceso de gas en lugar de quemarlo, particularmente en instalaciones situadas en las rutas migratorias</p>

<p>En las instalaciones que requieran inspecciones nocturnas intermitentes, encender las luces solo durante el tiempo que los operadores se muevan por las instalaciones.</p>	<p>Utilizar luces LED a prueba de explosión, de longitud de onda adecuada, con controles de iluminación inteligentes. Las luces LED no tienen limitaciones de calentamiento o enfriamiento, por lo que pueden permanecer apagadas hasta el momento necesario y proporcionar luz instantánea cuando sea necesario para las inspecciones nocturnas de rutina o en casos de emergencia.</p>
<p>Asegurarse de que los operadores de plantas/sitios industriales utilicen linternas frontales</p>	<p>Examinar la posibilidad de dotar a los operadores de la planta con linternas frontales de luz blanca para situaciones en que se requiere luz blanca para detectar el color correctamente o en casos de emergencia.</p>
<p>Dotar la iluminación de seguridad del perímetro de las instalaciones con sistemas de detección de infrarrojos supervisados por computadora</p>	<p>La iluminación del perímetro se puede mantener encendida cuando se necesita la iluminación nocturna, apagada por el resto del tiempo</p>
<p>Para las actividades turísticas alrededor de las colonias de aves marinas deberán utilizarse linternas para no perturbar a las</p>	<p>Se deberá prestar atención a la señalización educativa expuesta en torno a las colonias de aves marinas en las visitas turísticas que generalmente no están supervisadas.</p>
<p>Diseñar y poner en práctica un programa de rescate para las aves que han caído a tierra..</p>	<p>Ello no impedirá la caída a tierra de las aves, pero es una medida de gestión importante en ausencia de un diseño de iluminación apropiado. Los programas de rescate se han demostrado útiles para reducir la mortalidad de las aves marinas. El programa deberá incluir documentación y notificación de datos sobre el número y la ubicación de las aves rescatadas a las autoridades reglamentarias. Garantizar que las aves se liberan en una zona segura y en un momento adecuado para evitar a los depredadores</p>

Cuadro 10 En este cuadro, para los casos en que se hayan agotado todas las demás opciones de mitigación y se necesite la luz artificial por motivos de seguridad humana, se proporcionan luminarias comerciales recomendadas para su uso cerca de hábitats de aves marinas, así como las luminarias que se deberán evitar.

Tipo de luz	Idoneidad para su uso cerca del hábitat de aves marinas
Vapor de sodio de baja presión	✓
Vapor de sodio de alta presión	✓
LED filtrado*	✓
Halogenuro metálico filtrado*	✓
LED blanco filtrado*	✓
LED con propiedades espectrales apropiadas de las especies	✓
LED blanco	✗
Halogenuro metálico	✗
Fluorescente blanco	✗
Halógeno	✗
Vapor de mercurio	✗

*'Filtrado' significa que este tipo de luminaria solo se puede utilizar si se aplica un filtro para eliminar la luz de longitud de onda problemática.

Apéndice H - Aves playeras migratorias

Según los datos disponibles, la iluminación nocturna de las áreas de alimentación de las aves playeras migratorias puede beneficiar a estas aves, por ofrecerles mayores oportunidades de alimentación visual. No obstante, donde los refugios nocturnos están iluminados artificialmente, las aves playeras pueden verse desplazadas, reduciendo posiblemente su abundancia local si el costo energético de viajar entre los refugios nocturnos adecuados y los sitios de alimentación es demasiado grande.

La iluminación artificial podría actuar también como una trampa ecológica al atraer a las aves playeras migratorias a áreas de alimentación con mayor riesgo de depredación. En general, el efecto de la luz artificial en las aves playeras migratorias sigue siendo insuficientemente estudiado y, en consecuencia, se deberá adoptar el principio de precaución en toda evaluación que se emprenda, y gestionar los posibles efectos de la luz, salvo que se demuestre lo contrario.

Las aves playeras, conocidas también como limícolas, viven en los litorales costeros y en las masas de agua continentales durante la mayor parte de sus vidas. Pertenecen a la orden Charadriiformes. Estas aves pertenecen en su mayor parte a dos familias taxonómicas, los zarapitos (*Scolopacidae*) y los chorlitos (*Charadriidae*). Por lo general, se distinguen por sus patas relativamente largas, a menudo picos largos y, lo que es más importante, sus asociaciones con los humedales en algunas fases de sus ciclos anuales¹³⁰ (van de Kam et al., 2004).

Se han descrito al menos 215 especies de aves playeras¹³¹ y sus características comprenden una larga vida útil, pero un bajo rendimiento reproductivo (Colwell, 2010)¹³². Muchas especies tienen picos especiales para alimentarse de diferentes presas en los humedales. Sus picos contienen órganos sensoriales para detectar las vibraciones de las presas dentro del sustrato. Las aves playeras suelen ser gregarias durante la temporada de no reproducción, lo que quizás sea un mecanismo para reducir el riesgo de depredación individual¹³³ y aumentar la posibilidad de localizar áreas de alimentación favorables¹³² (Cresswell, 1994; Piersma y Baker, 2000). Más del 60 por ciento de las especies de aves playeras son migratorias. Algunos son migrantes transoceánicos y transcontinentales de largas distancias, capaces de volar durante muchos días sin escalas. Se han registrado vuelos ininterrumpidos de agujas colipintas (*Limosa lapponica*), por ejemplo, durante 11 500 km (Battley et al., 2012).



Figura 29 Correlimos zarapitín. Foto: Brian Furby.

Estado de conservación

Las especies de aves playeras migratorias en Australia están protegidas por tratados y acuerdos internacionales, incluidos la *Convención sobre la Conservación de Especies Migratorias de Animales Silvestres* (CMS, Convención de Bonn), la [Convención de Ramsar sobre Humedales](#) y la [Asociación de rutas migratorias de Asia oriental - Australasia](#), el [Acuerdo sobre la conservación de aves acuáticas migratorias de África y Eurasia \(AEWA\)](#) y la Alianza de las Américas. Muchas especies también están protegidas por la legislación medioambiental nacional.

El 41 % de las poblaciones cubiertas por AEWA están disminuyendo a corto plazo, el 29 % se mantienen estables y el 30 % están aumentando (Secretaría del PNUMA/AEWA, 2021). Las tendencias a largo plazo son similares (43 %, 23 % y 34 %, respectivamente). La proporción de poblaciones decrecientes es especialmente alta en las rutas migratorias de Asia Central y Sudoccidental, África Oriental y Meridional y África Subsahariana. En diversas partes de las rutas migratorias, los entornos industriales a gran escala y las recuperaciones amenazan a especies migratorias eliminando el principal hábitat que usan para sus paradas. Hay disponibles datos de tendencias para 35 poblaciones de aves costeras que usan la Ruta Migratoria del Atlántico Occidental; el 65 % de dichas poblaciones está decreciendo (Watts et al., 2015). Piersma et al. (2016) informaron de que la pérdida de hábitats a lo largo del mar Amarillo está contribuyendo al descenso del número de aves costeras a lo largo de la Ruta Migratoria de Asia Oriental-Australasia.

Algunas regiones poseen poblaciones crecientes. La proporción de poblaciones crecientes es especialmente elevada en África Occidental y Central, la parte atlántica del Paleártico y en las rutas migratorias del mar Negro y el Mediterráneo, saheliana y del Atlántico Oriental (Secretaría del PNUMA/AEWA, 2021).

Distribución y hábitat

Las aves costeras migratorias se encuentran en casi todos los países, estando algunas de ellas presentes a lo largo de todo el año en la mayoría. El pico de abundancia tiene lugar en primavera/verano en los países en los que se reproducen. En las zonas de reproducción, muchas especies usan hábitats tierra adentro, en particular la tundra, pero también diversos tipos de humedales. En las zonas no reproductivas, están asociadas fundamentalmente con hábitats de humedales costeros, incluidos estuarios y humedales en zonas intermareales, playas, marismas de agua salobre, hileras de manglares, pastizales húmedos, lagos efímeros de agua dulce y agua salada, pastos, arrozales, tierras de labranza, plantas de tratamiento de aguas negras, canales de irrigación, campos deportivos y campos de golf.

Las aves costeras migratorias usan corredores aéreos durante sus migraciones. Para una revisión detallada de las rutas migratorias de aves, ver PNUMA/CMS (2014), teniendo en cuenta que una ruta migratoria se define como «una región geográfica dentro de la cual una especie migratoria, un grupo de especies migratorias o una población distinta de una especie migratoria concreta completa todos los componentes de su ciclo anual (reproducción, muda, parada, no reproducción etc.). Para algunas especies y grupos de especies, estas rutas migratorias son distintas «rutas» que unen una red de emplazamientos clave. Para otras especies/grupos, las rutas migratorias están más dispersas» (PNUMA/CMS, 2014).

La Ruta Migratoria de Asia Oriental-Australasia, por ejemplo, se extiende desde el Extremo Oriente ruso y Alaska, pasando por Asia Oriental y el Sudeste Asiático, hasta Australia y Nueva Zelanda con 397 emplazamientos reconocidos a nivel internacional considerados de importancia para aves

costeras migratorias a lo largo de la misma (Bamford et al., 2008). Alberga a más de 50 millones de aves acuáticas migratorias de más de 250 poblaciones diferentes (EAAFP, 2018).

De la misma manera, la Ruta Migratoria de Asia Central cubre una amplia zona continental de Eurasia entre los Océanos Ártico e Índico y los archipiélagos asociados (CMS, 2023b). La Ruta Migratoria de Asia Central comprende varias rutas migratorias importantes de aves acuáticas, la mayoría de las cuales se extienden desde las zonas de reproducción más septentrionales de la Federación de Rusia (Siberia) hasta las zonas no reproductivas (invernada) más meridionales en Asia occidental y meridional, las Maldivas y el Territorio Británico del Océano Índico. La Ruta Migratoria de Asia Central cubre al menos 279 poblaciones de 182 especies de aves acuáticas migratorias, incluidas 29 especies amenazadas a nivel mundial y casi amenazadas, que se reproducen, migran e invernán dentro de la región.

Hábitat importante para las aves playeras migratorias

Para los fines de estas Directrices, la clasificación “hábitat importante para las aves playeras migratorias” comprende todas las áreas que son reconocidas o reúnen las condiciones para ser reconocidas como hábitat de importancia nacional o internacional. Estos hábitats se definen en la [Declaración de Política 3.21 de la Ley EPBC, Directrices de la industria para evitar, evaluar y mitigar los impactos sobre las especies de aves playeras migratorias incluidas en la Ley EPBC¹³⁶](#) y en el Plan [de conservación de la fauna silvestre para las aves playeras migratorias \(2015\)138](#).

- **Hábitats de importancia internacional** son los humedales que albergan al 1% de los individuos de una población de una especie o subespecie, o una abundancia total de al menos 20 000 aves acuáticas ([criterios de sitios Ramsar](#)).
- **Hábitats de importancia nacional** podría variar en función del país. Por ejemplo, en [Australia](#), los hábitats de importancia nacional son aquellos que albergan al 0,1% de la población migratoria de una sola especie; 2.000 aves playeras migratorias; o 15 especies de aves playeras migratorias.

Ruta Migratoria de Asia Oriental-Australasia

Muchos de los reproductores del hemisferio norte anidan en la tundra ártica o subártica durante el verano boreal (mayo-julio) y pasan el período no reproductivo (agosto-abril) en Australia o Nueva Zelanda. Suelen pasar entre cinco y seis meses en zonas no reproductivas, donde completan su muda básica (plumaje no reproductivo) y comienzan después una muda preformativa (plumaje de reproducción) antes de su migración hacia el norte. Mientras experimentan su muda preformativa, las aves costeras consumen también una cantidad elevada de presas para aumentar sus depósitos de grasa, lo que les permite viajar mayores distancias entre lugares de repostaje. Las aves costeras repostan en Asia Oriental durante su migración hacia el norte, pero durante su migración hacia el sur, algunos individuos atraviesan el Pacífico, deteniéndose brevemente en islas para repostar. Las aves costeras que migran atravesando el Pacífico suelen contar con zonas no reproductivas en el este de Australia y Nueva Zelanda. Las aves costeras que regresan a zonas no reproductivas en el oeste y el norte de Australia vuelven a pasar por Asia Oriental en su viaje hacia el sur.

Ruta Migratoria del Atlántico Occidental

Muchos reproductores del hemisferio norte anidan en la tundra ártica o subártica durante el verano boreal (mayo-julio), mientras que otras especies son habituales en los pastizales del oeste y el centro de Norteamérica y otras, a su vez, son comunes en los humedales costeros. La mayoría de poblaciones de numerosas especies pasan el período no reproductivo (agosto-abril) en ruta hacia o en lugares más meridionales, incluso en puntos extremadamente meridionales del hemisferio sur.

Las aves suelen pasar entre cinco y seis meses en zonas no reproductivas, independientemente de su distancia a las zonas de reproducción, donde completan su muda básica (plumaje no reproductivo) y comienzan después una muda preformativa (plumaje de reproducción) antes de su migración hacia el norte. Mientras experimentan su muda preformativa, las aves costeras consumen también una cantidad elevada de presas para aumentar sus depósitos de grasa, lo que les permite viajar mayores distancias entre lugares de repostaje. Las aves costeras repostan en partes del norte de Sudamérica, pero sobre todo en el sur y el este de Norteamérica, durante su migración hacia el norte; durante la migración hacia el sur, algunos individuos viajan por tierra atravesando las regiones centrales del continente, pero también atraviesan el Pacífico Oriental y el Atlántico Noroccidental, en función de las especies y la población, deteniéndose para repostar únicamente en caso de condiciones meteorológicas desfavorables. Una característica común a muchas aves es su dependencia de hábitats de humedales interiores o costeros en algunas fases de sus ciclos vitales anuales. Numerosas aves costeras migratorias, a pesar de las amplias distancias que cubren a diario, pasan la mayoría del tiempo en humedales costeros, a excepción de los dos meses de anidación, en los que usan hábitats de tundra o taiga. No obstante, los humedales costeros productivos están localizados, lo que significa que porcentajes elevados, o incluso poblaciones completas, se reúnen en un único lugar durante sus paradas o el período no reproductivo. La bahía de Delaware, por ejemplo, es la zona de parada más importante para la población norteamericana del playero rojizo (*Calidris canutus rufa*), dado que hasta un 90 % de la población para allí dentro de una franja de tiempo muy reducida (American Bird Conservancy, 2023). En el caso de los playeros rojizos (*C.c. rogersi* y *C.c. piersmai*) que migran hacia el norte por la Ruta Migratoria de Asia Oriental-Australasia, al menos el 45 % y puede que cerca del 100 % hacen parada en la bahía de Bohai, principalmente en la zona intermareal de Nanpu, en China (Mu et al., 2022). Los humedales más usados incluyen marismas y bancos de arena costeros, playas de arena, marismas de agua salobre e hileras de manglares, humedales efímeros de agua dulce y pastizales húmedos.

Los humedales costeros intermareales preferidos por muchas aves costeras migratorias son un ecosistema dinámico fuertemente influenciado por el ciclo de mareas. Forman parte de las zonas críticas de transición entre tierra, hábitats de agua dulce y el mar. Los humedales intermareales ubicados en rutas migratorias han sido susceptibles de una intensa modificación para el desarrollo de tierras de cultivo, acuicultura, minería de sal, puertos e industria.

El patrón de actividad diaria de las aves costeras en los humedales costeros no está determinado únicamente por la luz del día, sino también por el ciclo de mareas (Colwell, 2010). Se alimentan en el humedal intermareal que queda expuesto durante la marea baja y descansan durante la marea alta, puesto que sus zonas de alimentación están inundadas. Las aves se alimentan tanto durante el día como la noche, sobre todo en la antesala de la migración (Lourenço et al., 2008; Santiago-Quesada et al., 2014).

La selección de lugares de refugio puede variar entre el día y la noche. Las aves costeras suelen utilizar los refugios diurnos más cercanos a la zona de alimentación intermareal y podrían viajar más para usar refugios nocturnos más seguros, pero con un coste energético superior (Dias et al., 2006; Rogers et al., 2006b). El hábitat del refugio también puede variar entre el día y la noche. Por ejemplo, el playero común (*Calidris alpina*), en California, usaba más los pastos por la noche (que solían verse menos afectados por la luz artificial y otras perturbaciones) y dependía menos de sus refugios diurnos en islas y estructuras artificiales, tales como escolleras y tuberías de agua (Conklin y Colwell, 2007).

Los comportamientos de búsqueda de alimento difieren entre el día y la noche y entre temporadas (Lourenço et al., 2008; McNeil et al., 1993). Las aves costeras suelen mostrar preferencia por la

búsqueda de alimento diurna, que tiene lugar en una zona más extensa, y a un ritmo más rápido, que la búsqueda de alimento nocturna (Lourenço et al., 2008). Una disponibilidad de presas mayor, la prevención de la depredación diurna y las alteraciones son algunas de las razones para la búsqueda de alimento nocturna (McNeil et al., 1993). Se han descrito dos tipos básicos de estrategias de búsqueda de alimento: la búsqueda de alimento visual y táctil (basada en el tacto), y algunas especies van cambiando entre ambas estrategias. Los buscadores de alimento táctiles, como los andarríos, pueden usar sus órganos sensoriales para detectar presas dentro del sustrato en la oscuridad y pueden cambiar a una estrategia visual de búsqueda de alimento durante noches de luna para aprovecharse de la luz de la luna (McNeil et al., 1993). Los buscadores de alimento visuales, como los chorlos, tienen unas densidades elevadas de fotorreceptores, especialmente los bastones adaptados a la oscuridad, que les permiten buscar alimento en condiciones de iluminación reducida (McNeil et al., 1993; Rojas et al., 1999). Se ha demostrado que los chorlos emplean una estrategia visual de búsqueda de alimento tanto durante el día como la noche, mientras que los andarríos pueden pasar de la búsqueda visual de alimento durante el día a la búsqueda táctil de alimento durante la noche, probablemente debido a una visión nocturna menos eficiente (Lourenço et al., 2008).

Efectos de la luz artificial en las aves playeras migratorias

La luz artificial puede desorientar a las aves voladoras, afectar a la selección de las escalas y causar su muerte por colisión con las infraestructuras¹³⁹ (McLaren et al., 2018). Las aves pueden morir de hambre como consecuencia de la interrupción de la búsqueda de alimento, lo que dificulta su capacidad de prepararse para la reproducción o la migración. Sin embargo, la luz artificial puede ayudar a algunas especies, en particular a las aves playeras que buscan alimento durante la noche, ya que pueden facilitarles el acceso a los alimentos^{140.141}.

Ciclo anual y utilización del hábitat en aves playeras migratorias

Las especies de aves playeras migratorias incluidas en la Ley EPBC se reproducen en el hemisferio norte, excepto el chorlitejo de dos bandas (*Charadrius bicinctus*), que se reproduce en Nueva Zelandia. Muchos de los reproductores del hemisferio norte anidan en la tundra ártica o subártica durante el verano boreal (mayo - julio) y pasan la temporada de no reproducción (agosto - abril) en Australia o Nueva Zelandia. Por lo general, transcurren de cinco a seis meses en las zonas de no reproducción, donde completan su muda básica (plumaje de fase no reproductiva) y comienzan luego una muda prealterna (plumaje de fase reproductiva) antes de su migración hacia el norte. Mientras experimentan su muda prealterna, las aves playeras consumen también una mayor cantidad de presas para aumentar sus reservas de grasa, lo que les permite viajar atravesando mayores distancias entre los sitios de reabastecimiento. Las aves playeras se reabastecen en Asia oriental durante su migración hacia el norte, pero durante la migración hacia el sur, algunas aves viajan a través del Pacífico, deteniéndose brevemente en islas para reabastecerse. Las aves playeras que migran a través del Pacífico por lo general no disponen de zonas de no reproducción en Australia Oriental y Nueva Zelandia. También las aves playeras que regresan a zonas de no reproducción de Australia occidental y septentrional, pasan por el Asia oriental en su viaje hacia el sur.

Una característica común de muchas aves es su dependencia de los hábitats de humedales continentales o costeros en algunas fases de sus historias de vida anuales. Muchas aves playeras migratorias, no obstante, las vastas distancias que recorren cada año, pasan la mayor parte de su tiempo en humedales costeros, salvo los dos meses de anidación en que utilizan los hábitats de tundras o taigas. No obstante, los humedales costeros productivos son limitados,

lo que significa que grandes proporciones, o incluso poblaciones enteras, se reúnen en un solo sitio durante las escalas o la temporada de no reproducción.

Un ejemplo son el correlimos grande y el chorlitoje mongol grande, ya que el 40% y el 57%, respectivamente, de toda su población migratoria pasa su temporada de no reproducción en Eighty-Mile Beach en Australia Occidental¹³⁷. Los humedales comúnmente utilizados comprenden fangales y llanuras de arena costeras, playas arenosas, marismas y márgenes de manglares, humedales efímeros de agua dulce y pastizales húmedos. Los humedales costeros intermareales preferidos por muchas aves playeras migratorias son un ecosistema dinámico que depende en gran medida del ciclo de las mareas. Estos humedales forman parte de las zonas críticas de transición entre la tierra, los hábitats de agua dulce y el mar. A lo largo de la ruta migratoria de Asia Oriental - Australasia, los humedales intermareales han experimentado fuertes modificaciones para el fomento de tierras de cultivo, acuicultura, minas de sal, puertos e industrias.

Modelo de actividad diaria y uso del hábitat de las aves playeras migratorias

El modelo de actividad diaria de las aves playeras en los humedales costeros no viene determinado solo por la luz del día, sino también por el ciclo de mareas¹³¹. Se alimentan del humedal de marea que queda expuesto durante la marea baja y descansan durante la marea alta cuando sus áreas de alimentación quedan inundadas. Las aves se alimentan tanto de día como de noche, sobre todo durante el período previo a la migración^{142.143}.

La selección del lugar de descanso puede variar entre el día y la noche. Las aves playeras utilizan a menudo lugares de descanso diurnos más cercanos al área de alimentación intermareal y pueden desplazarse más lejos para utilizar refugios nocturnos más seguros, pero con un mayor costo energético^{144.145}. El hábitat de descanso puede variar también entre el día y la noche. Por ejemplo, el correlimos común (*Calidris alpina*), en California, utilizaba en mayor medida los pastos por la noche (por estar menos afectado por la luz artificial y las perturbaciones) y dependía en menor medida de sus lugares de descanso diurnos de islas y estructuras artificiales como ripraps y tuberías de agua¹⁴⁶.

Los comportamientos de búsqueda de alimento difieren entre el día y la noche, y entre estaciones^{143.147}. Las aves playeras suelen mostrar preferencia por la búsqueda de alimento durante el día, que puede realizarse en un área mayor y de forma más rápida que la búsqueda de alimento durante la noche¹⁴³. En cambio, el aumento de la disponibilidad de presas, la posibilidad de evitar la depredación y la perturbación diurnas son algunas de las razones de la preferencia por la búsqueda nocturna¹⁴⁷. Se han descrito dos tipos básicos de estrategias de alimentación: la búsqueda visual y la táctil (basada en el tacto), con algunas especies que alternan entre ambas estrategias. Las que utilizan la alimentación táctil, tales como los chorlitos, pueden utilizar órganos sensoriales presentes en sus picos para detectar presas dentro del sustrato en la oscuridad y pueden cambiar a la estrategia de búsqueda visual durante las noches de luna para aprovechar la luz de la luna¹⁴⁷. Las que utilizan la alimentación visual, tales como las canasteras, disponen de elevadas densidades de fotorreceptores, en particular bastones adaptados a la oscuridad, que permiten la alimentación en condiciones de poca luz^{147.148}. Se ha mostrado que los chorlitos emplean una estrategia de alimentación visual tanto durante el día como durante la noche, mientras que los chorlitos pueden pasar de la búsqueda visual durante el día a la búsqueda táctil durante la noche, probablemente debido a una visión nocturna menos eficiente¹⁴³.

Visión en las aves playeras migratorias

Hay escasez de literatura sobre la percepción de la luz en aves playeras migratorias, y la mayor parte de los estudios se limitan al papel de la visión en la búsqueda de alimento y nada sobre la fisiología de los ojos de las aves playeras o su respuesta a diferentes longitudes de onda de luz.

Se sabe que las aves en general se sienten atraídas y desorientadas por las luces artificiales. Puede que este fenómeno se deba al hecho de quedar cegado por la intensidad de la luz que blanquea los pigmentos visuales y, por tanto, no poder ver los detalles visuales¹⁴⁹ Verheijen, 1985) o la interferencia con la brújula magnética utilizada por las aves durante la migración¹⁵⁰ (Poot et al., 2008). La atracción por la iluminación nocturna artificial convencional puede determinar otras consecuencias adversas, como la reducción de las reservas de energía, el retraso de la migración, el aumento de la posibilidad de colisión y, por tanto, de lesiones y la muerte¹⁵¹ (Gauthreaux y Belser, 2006).

Las gaviotas y los charranes (*Anous minutus*, *Anous tenuirostris* y *Gygis alba*) comparten pigmentos visuales que les permiten la visión en la región ultravioleta de longitud de onda corta del espectro, además de en la región violeta (azul) del espectro. Sin embargo, esta sensibilidad a la luz de longitud de onda muy corta es rara en las aves marinas, que se caracterizan por una sensibilidad de visión fotópica (adaptada a la luz del día) en el rango de longitud de onda media a larga del espectro visible (590 - 740 nm, naranja a rojo) mientras que su visión escotópica (poca luz, adaptada a la oscuridad) es más sensible a las longitudes de onda cortas de la luz (380 - 485 nm, violeta - azul)¹¹⁹.

Efectos biológicos sobre las aves playeras migratorias

El aumento exponencial del uso de la luz artificial durante la última década significa que la contaminación lumínica ecológica se ha convertido en un problema mundial⁶⁰ (Santos et al., 2010; Dwyer et al., 2013). Aunque no está claro en qué medida se ven afectados los ecosistemas intermareales¹⁵², en varios estudios se han evaluado los aspectos positivos y negativos de la contaminación lumínica en las aves playeras migratorias.

Se ha mostrado que la iluminación artificial influye en el comportamiento de alimentación nocturna de las aves playeras^{141.153}. Santos et al (2010) demostraron que tres especies de chorlitejo (el chorlitejo grande, *Charadrius hiaticula*, el chorlitejo patinegro *Charadrius alexandrina* y el chorlito gris *Pluvialis squatarola*) así como dos especies de escolopácidos (el correlimos común *Calidris alpina* y el archibebe común *Tringa totantus*) mejoraron la alimentación aprovechando los sitios donde las farolas proporcionaban iluminación adicional¹⁵³.

Asimismo, Dwyer et al (2013) mostraron que la luz artificial generada en un gran sitio industrial alteró considerablemente la estrategia de búsqueda de alimento del archibebe común en un estuario. El aumento de la iluminación nocturna del estuario proveniente del sitio industrial permitió a las aves alimentarse durante períodos prolongados utilizando una estrategia de búsqueda visual, lo que se consideró un comportamiento de búsqueda más eficaz en comparación con la búsqueda táctil¹⁴¹ (Dwyer et al., 2013). No obstante, los patrones de cambio a la nocturnidad fueron específicos de las especies y el aumento del éxito en la búsqueda de alimento no deberían considerarse necesariamente un beneficio neto para cualquier especie. En el caso de las aves costeras, un mayor éxito en la búsqueda de alimento podría reducir sus fuentes de alimento y afectarles negativamente a largo plazo. Owens et al. (2020) documentan que la contaminación lumínica contribuye a la disminución del número de insectos y que podría estar alterando ecosistemas completos, por lo que, en este momento, no puede considerarse que beneficie a las aves costeras.

Mientras las aves playeras pueden sentirse atraídas hacia las áreas de alimentación con mayor iluminación nocturna, la luz artificial cerca de los sitios de descanso nocturno puede producir el efecto de desplazar a las aves. Rogers et al (2006) estudiaron los hábitos de descanso nocturno de las aves playeras en Australia noroccidental, y sugirieron que se seleccionaran sitios de descanso nocturno con baja exposición a la iluminación artificial (p. ej., de alumbrado público y del tráfico), y donde se percibiera que el riesgo de depredación era bajo. En el estudio se observó también que los refugios nocturnos diferían espacialmente de los refugios diurnos y requerían un mayor costo energético para acceder, ya que la distancia entre los refugios nocturnos y las áreas de alimentación era mayor que la distancia entre los sitios de descanso diurnos y las mismas áreas de alimentación¹⁴⁵(Rogers et al., 2006b).

Se prevé que la densidad general de aves playeras en áreas de forrajeo adecuadas disminuya con el aumento de la distancia al sitio de descanso más cercano, debido al mayor costo energético de desplazamiento entre las áreas^{144.145}(Dias et al., 2006; Rogers et al., 2006b). Es, pues, probable que la iluminación artificial (o su ausencia) de los sitios de descanso nocturnos influya considerablemente en la abundancia de aves playeras presentes en las áreas de alimentación cercanas.

Las luces giratorias o intermitentes podrían molestar a las aves playeras y obligarles a abandonar el área, especialmente si la luz es persistente (obs. pers. de Choi 2018, com. pers. de Straw 2018).

La luz artificial puede afectar a las aves en vuelo. La luz brillante no solo puede atraer a los migrantes aéreos¹⁵⁴, sino que la luz artificial puede afectar también a la selección del lugar de escala en los migrantes de larga distancia, lo cual puede influir en el éxito de la migración y en debilitar la condición física¹³⁹(Longcore et al., 2013; McLaren et al., 2018). Análogamente, Roncini et al (2015) notificaron interacciones entre las plataformas de producción de petróleo y gas en alta mar y las aves en el Mar del Norte y observaron que era probable que entre ellas figuraran las aves playeras migratorias. En el examen se estimó que cada año morían cientos de miles de aves en estas interacciones y que la luz fuera probablemente la causa los efectos son específicos de la región, la especie y la plataforma¹⁰⁸.

Evaluación del impacto ambiental de la luz artificial en las aves playeras migratorias

Como mínimo, deberán aplicarse las [Mejores prácticas en el diseño de la iluminación](#) en la infraestructura con iluminación artificial visible desde el exterior. En caso de que haya un hábitat importante para las aves playeras migratorias a distancia inferior a los 20 km de un proyecto, se deberá examinar si es probable que esa luz produzca efectos en esas aves. En las secciones que figuran a continuación se explica el marco para la gestión de la luz artificial, con una consideración específica para las aves playeras migratorias. La zona de influencia de 20 km se basa en un enfoque de precaución según el cual el resplandor del cielo puede alterar el comportamiento de otras especies hasta una distancia de 15 km²⁸(Rodríguez et al., 2014).

Ante la probabilidad de que la luz artificial afecte a las aves playeras migratorias, deberá examinarse la posibilidad de aplicar medidas de mitigación lo antes posible en la elaboración de un proyecto y utilizarlas para documentar la fase de diseño.

Es importante reconocer las características espaciales y temporales de los corredores migratorios para algunas especies de aves playeras migratorias. Las especies suelen utilizar

rutas migratorias ya establecidas en momentos previsibles, por lo que deberá evaluarse toda luz artificial que intersecte una ruta migratoria aérea, al igual que para las poblaciones terrestres.

Orientaciones sobre el tema

- [AEWA Plan of Action for Africa 2019-2027](#)
- [East Asian – Australasian Flyway Partnership 2019-2028 Strategic Plan](#)
- [Central Asian Flyway Action Plan to Conserve Migratory Waterbirds and their Habitats](#)
- Asesoramiento aprobado en materia de conservación

Personal cualificado

El diseño/gestión de la iluminación y el proceso de EIA deberán ser realizados por personal debidamente cualificado. Los planes deberán ser elaborados y revisados por profesionales de la iluminación debidamente cualificados, en consulta con un ornitólogo o ecólogo marino debidamente capacitado. Las personas que asesoran sobre la elaboración de planes de gestión de la iluminación o la preparación de informes de evaluación de los efectos de la luz artificial en las aves playeras migratorias, deberán estar dotadas de calificaciones académicas pertinentes equivalentes a una educación terciaria en ornitología, o experiencia equivalente probada por publicaciones revisadas por expertos en los últimos cinco años sobre un tema pertinente u otra experiencia análoga pertinente.

Fase 1: Describir la iluminación del proyecto

En la información que se recopile en esta fase deberán examinarse los [efectos biológicos de la luz en las aves playeras migratorias](#). Pueden verse afectados por la luz cuando buscan alimento o migran por la noche. La luz artificial por la noche puede afectar también a la selección del lugar de descanso. Se deberá examinar la ubicación y la fuente de luz (tanto directa como la proveniente del resplandor del cielo) en relación con las áreas de alimentación y descanso, dependiendo de si las aves están activas o descansan por la noche. Las aves playeras son sensibles a la luz de onda corta (azul/violeta) y algunas especies pueden detectar la luz ultravioleta. No obstante, puede que la intensidad de las luces sea más importante que el color.

Fase 2: Describir la población y el comportamiento de las aves playeras migratorias.

Se deberán describir las especies y el comportamiento de las aves playeras presentes en el área de interés. En la descripción se deberá incluir el estado de conservación de la especie; la abundancia de aves; grado de dispersión/localización de la población; la ubicación y el momento o uso del corredor migratorio; la importancia regional de la población; el número de aves en el área en diferentes estaciones; y su comportamiento nocturno (descanso o forrajeo).

Se debería buscar información pertinente sobre las aves playeras en la literatura científica; y los conocimientos locales/indígenas y otras fuentes pertinentes para su localización.

Si se carece de datos suficientes para comprender la importancia o la demografía de la población, o cuando es necesario documentar el comportamiento efectivo de las aves playeras, deberán realizarse posiblemente estudios sobre el terreno, así como un seguimiento biológico.

Seguimiento biológico de las aves playeras migratorias

Todo seguimiento relacionado con un proyecto deberá ser elaborado, supervisado y los resultados interpretados por biólogos debidamente cualificados para asegurar la fiabilidad de los datos.

El objetivo es recopilar datos sobre la abundancia de aves y su comportamiento normal. Véanse las Directrices para el estudio de las aves amenazadas de Australia¹²⁸.

Los datos se utilizarán para documentar la EIA y evaluar si las medidas de mitigación tienen éxito. En la Cuadro 11 se resumen los parámetros mínimos de seguimiento sugeridos (lo que se mide) y las técnicas (cómo se miden).

Cuadro 11 Información biológica mínima recomendada necesaria para evaluar la importancia de una población de aves playeras migratorias. Nota: la información contenida en este Cuadro no es prescriptiva y deberá evaluarse caso por caso.

Actividad de estudio	Duración	Referente
<p>La programación de los estudios dependerá de los patrones estacionales mostrados por las aves costeras y las funciones (reproducción, parada, invernada) para las que se usa el lugar.</p> <p>En el caso de las aves no reproductoras, suelen llevarse a cabo estudios multiespecie en enero (para las especies reproductoras del hemisferio norte) y en julio (para algunas especies reproductoras afrotropicales).</p> <p>En el caso de las aves reproductoras, el mejor momento para su estudio dependerá de cuánto tenga lugar el período de reproducción de las especies de interés y la época concreta dentro del período de reproducción en la que es más eficaz llevar a cabo un estudio.</p> <p>Durante los períodos de migración, el momento exacto para los estudios en primavera u otoño dependerá de la fenología de la especie en concreto.</p>	<p>Dos horas antes y después de la marea alta prevista.</p>	<p>AEWA Guidelines on Waterbird Monitoring</p>

Seguimiento de las poblaciones de aves playeras migratorias

- Hacer un seguimiento de la población (durante las diferentes estaciones) a fin de establecer un punto de referencia para evaluar la abundancia antes, durante y después de la construcción, y durante las operaciones para detectar cambios relacionados con el proyecto.
- Cuantificar el uso y movimiento diurno y nocturno del hábitat en relación con el ciclo de las mareas (mareas altas y bajas durante los ciclos de marea muerta y marea viva) en el área en condiciones básicas de referencia para comparar con las condiciones afectadas por la luz durante la construcción y el funcionamiento.
- Medir los niveles de luz nocturna en los sitios de alimentación y los sitios de descanso nocturnos antes y después del período de construcción de un proyecto.
- Hacer un seguimiento de los sitios de descanso nocturno utilizando dispositivos de grabación acústica y/o cámaras infrarrojas para determinar el uso del sitio de descanso nocturno después de la introducción de luz artificial.

Al mismo tiempo que los datos biológicos, deberán recopilarse también, como mínimo, los datos cualitativos descriptivos sobre los tipos, la ubicación y la directividad de la luz visible. Las imágenes de la cámara de mano pueden ayudar a describir la luz. Los datos cuantitativos sobre el resplandor existente del cielo deberán recopilarse, si es posible, de manera biológicamente significativa, reconociendo las dificultades técnicas para obtener estos datos. Véase [Medición de la luz biológicamente relevante](#) para una revisión.

Fase 3: Evaluación de riesgos

La finalidad de estas Directrices es asesorar para que la gestión de la iluminación se lleve a cabo de modo que las aves playeras no se vean perturbadas en un hábitat importante o desplazadas fuera del mismo y puedan emprender comportamientos de importancia fundamental como buscar alimento, descansar y dispersarse. Estas consecuencias deberán tenerse en cuenta en el proceso de evaluación de riesgos. En los hábitats importantes de las aves playeras, el número de lugares de descanso y forrajeo deberán permanecer constantes y las aves que buscan alimento no deberán sentirse asustadas ni expuestas a mayor riesgo de depredadores como resultado del aumento de la iluminación.

En la evaluación deberá tenerse en cuenta el entorno de luz existente, el diseño de iluminación propuesto y la mitigación/gestión, el comportamiento in situ de las aves playeras y en qué modo perciben las aves la luz. Se deberá incluir también información sobre la longitud de onda, intensidad y perspectiva de la luz. Para comprender en qué modo y si es probable que las aves playeras vean la luz, se deberá realizar una visita al sitio por la noche y observar el área desde las llanuras intermareales y las áreas de descanso. Se deberá examinar asimismo en qué forma verán las aves playeras la luz cuando estén en vuelo y a lo largo de las rutas migratorias durante los períodos de migración.

Por último, se deberá examinar el tipo y número de luces artificiales para evaluar si es probable que las aves perciban la luz y las posibles consecuencias de la iluminación en su comportamiento.

Fase 4: Plan de gestión de la luz

Este plan deberá comprender toda la información pertinente del proyecto (Fase 1) así como la información biológica (Fase 2). Se deberá describir la mitigación propuesta. Para conocer una variedad de medidas de mitigación específicas para aves playeras, consultar el [Conjunto de opciones de mitigación de la luz de aves playeras migratorias](#) a continuación. En el plan se deberá describir también el tipo y el cronograma de seguimiento biológico y de la luz para asegurar que la mitigación cumpla con los objetivos del plan, así como los mecanismos previstos para accionar la revisión la fase de evaluación de riesgos de la EIA. En el plan deberán describirse las opciones en caso de imprevistos si el estudio biológico y de la luz o las auditorías de cumplimiento indican que la mitigación no está cumpliendo los objetivos del plan (p. ej., la luz es visible en las llanuras intermareales, las aves playeras dejan de utilizar las áreas de descanso o las aves aterrizan o colisionan con las infraestructuras, o las aves migratorias dejan de utilizar un corredor migratorio).

Fase 5: Seguimiento biológico y auditoría de la luz

El éxito del plan deberá confirmarse mediante el seguimiento y la auditoría de cumplimiento. Los resultados deberán utilizarse para facilitar un enfoque de gestión adaptativa y asegurar la mejora continua.

El estudio biológico se describe en la Fase 2. El seguimiento de la luz concurrente deberá realizarse e interpretarse en el contexto de cómo perciben las aves la luz y en el marco de las limitaciones de las técnicas de seguimiento descritas en [Medición de la luz biológicamente relevante](#). Deberá realizarse una [Auditoría](#), conforme se describe en el plan.

Fase 6: Examen

En la EIA se deberá incorporar un proceso de examen de la mejora constante que permita realizar mitigaciones mejoradas, cambios en los procedimientos y la renovación del plan de gestión de la luz.

Conjunto de opciones de mitigación de la luz para las aves playeras migratorias

En todos los proyectos deberán incorporarse las [Mejores prácticas en el diseño de la iluminación](#). Los controles apropiados de la iluminación y la mitigación de los efectos de la luz serán específicos del sitio/proyecto y de la especie. En el Cuadro 12 se proporcionan un Conjunto de opciones que se aplicarán además de los seis principios de mejores prácticas en el diseño de la iluminación. No todas las opciones de mitigación serán pertinentes para todas las situaciones. En el Cuadro 12 se proporciona una lista propuesta de tipos de luz apropiados para su uso cerca de colonias o sitios de descanso y tipos que se deberán evitar.

Cuadro 12 Medidas de gestión de la luz específicas para las aves playeras migratorias.

Medidas de gestión	Información detallada
<p>Aplicar las medidas cuando es probable que haya aves presentes. Las medidas comprenden períodos de máxima migración (ubicaciones de rutas migratorias).</p>	<p>Deben identificarse los períodos de migración. Podrían emplearse datos de ciencia ciudadana para identificar la fenología durante el ciclo anual, por ejemplo, eBird.</p>
<p>Ninguna fuente de luz deberá ser directamente visible desde los hábitats de alimentación o de descanso nocturno, o desde las rutas migratorias.</p>	<p>Cualquier luz que sea directamente visible para una persona que se encuentre en hábitats de alimentación o de descanso nocturno será potencialmente visible para un ave playera, por lo que deberá modificarse su posición para evitar que sea vista. Asimismo, las luces deberán apantallarse de manera que no resulten visibles desde el cielo.</p>
<p>No instalar fuentes de luz fijas en áreas nocturnas de forrajeo o descanso.</p>	<p>La instalación de fuentes de luz (p. ej., postes de luz) dentro del hábitat de las aves playeras puede reducir permanentemente el área disponible para buscar alimento o descansar y proporcionar puntos de observación para los depredadores (p. ej., aves rapaces) durante el día.</p>
<p>Evitar que fuentes de luz móviles brillen en el hábitat nocturno de forrajeo y descanso.</p>	<p>Se deberá evitar que la luz de fuentes móviles, como torres de iluminación móviles, linternas frontales o faros de vehículos, se orienten hacia áreas nocturnas de alimentación o de descanso, ya que ello puede causar una perturbación inmediata.</p>
<p>Mantener una barrera natural (p. ej., una pantalla de dunas y/o vegetación) entre las áreas de alimentación nocturna y de descanso, y las fuentes de luz artificial.</p>	<p>Reduciendo la exposición de las aves playeras a la luz artificial se reducirá el riesgo de depredación y perturbación.</p>
<p>Mantener una zona oscura entre los hábitats de alimentación nocturna y de descanso y las fuentes de luz artificial.</p>	<p>La creación de una zona oscura entre las luces artificiales y el hábitat de las aves playeras reducirá las molestias a las aves playeras.</p>

<p>Utilizar toques de queda para regular la iluminación cerca de las áreas nocturnas de alimentación y de descanso en los hábitats costeros. Por ejemplo, regular las luces artificiales mediante sensores de movimiento y temporizadores desde el anochecer hasta el amanecer.</p>	<p>En los toques de queda se deberá tener en cuenta también el ciclo de las mareas si la iluminación artificial está ubicada en la costa, p. ej., apagar la iluminación desde dos horas antes de la marea alta, hasta dos horas después de la marea alta, mientras las aves playeras están posiblemente descansando.</p>
<p>Utilizar luces giratorias/intermitentes en lugar de un haz fijo.</p>	<p>Por ejemplo, se pueden utilizar pequeñas luces rojas intermitentes para señalar una entrada o delinear un camino. El ritmo de parpadeo de las luces deberá seguir un patrón previsible y bien espaciado.</p>
<p>Utilizar sensores de movimiento para encender las luces solo cuando sea necesario.</p>	<p>Por ejemplo, la instalación de iluminación para peatones activada por sensores del movimiento dentro de los 500 m de las áreas de alimentación nocturna o de descanso puede contribuir a reducir la cantidad de tiempo que el hábitat está expuesto a la luz artificial.</p>
<p>Gestionar la luz artificial en muelles y marinas.</p>	<p>Las aves playeras a menudo se posan en rompeolas y embarcaderos, por lo que el hecho de reservar áreas oscuras en esos lugares puede contribuir a proporcionar espacios seguros para que las aves playeras se posen.</p>
<p>Reducir la iluminación de cubierta al mínimo requerido para la seguridad humana en embarcaciones amarradas cerca de áreas nocturnas de forrajeo y descanso, y en las que operan en alta mar.</p>	<p>Apagar las luces de cubierta cuando no sean necesarias y limitar la iluminación nocturna a las luces de navegación solamente. Los barcos de alta mar deberán dirigir la luz hacia el interior, particularmente durante los períodos de migración cuando las aves playeras pasan posiblemente sobre las embarcaciones.</p> <p>Tomar nota de las colisiones o las capturas incidentales de aves y notificar estos datos a las autoridades reglamentarias.</p>

<p>Reducir al mínimo la quema de la antorcha nocturna en las instalaciones de producción de gas y petróleo en alta mar.</p>	<p>Examinar la posibilidad de reinyectar el exceso de gas en lugar de quemarlo. Programar la quema de mantenimiento durante las horas del día.</p> <p>Tomar nota de las colisiones o las capturas incidentales de aves y notificar estos datos a las autoridades reglamentarias.</p>
<p>Utilizar luminarias con contenido espectral apropiado para las especies presentes.</p>	<p>Deberá tenerse en cuenta la posibilidad de evitar longitudes de onda específicas que sean problemáticas para las especies de interés. En general, esta medida deberá incluir la disposición de evitar el uso de luminarias ricas de luz azul, aunque algunas aves son sensibles a la luz amarilla y es posible que se requieran otras medidas de mitigación.</p>
<p>Evitar luces de alta intensidad de cualquier color.</p>	<p>Manteniendo la intensidad de la luz lo más baja posible en las cercanías de las áreas de alimentación nocturna y de descanso se reducirá al mínimo el impacto.</p>
<p>Evitar que la iluminación de interiores llegue al hábitat de las aves playeras migratorias.</p>	<p>Utilizar pantallas de ventana fijas para ventanas o tintes para ventanas y tragaluces fijos para contener la luz en el interior de los edificios.</p>
<p>En las instalaciones que requieran inspecciones nocturnas intermitentes, encender las luces solo durante el tiempo en que los operadores se muevan por la instalación.</p>	<p>Utilizar luces LED a prueba de explosión de longitud de onda adecuada con controles de iluminación inteligentes y/o sensores de movimiento. Las luces LED no tienen limitaciones de calentamiento o enfriamiento, por lo que pueden permanecer apagadas hasta el momento necesario y proporcionar luz instantánea cuando sea necesario para las inspecciones nocturnas de rutina o en casos de emergencia.</p>
<p>Los operadores de plantas/emplazamientos industriales deberán utilizar linternas frontales personales.</p>	<p>Examinar la posibilidad de dotar a los operadores de la planta de linternas frontales blancas (hay disponibles linternas a prueba de explosión) para situaciones en que se requiere luz blanca para detectar el color correctamente o en casos de emergencia. Los operadores deberán evitar que brille la luz en las áreas nocturnas de alimentación o de descanso, ya que ello puede perturbar a las aves.</p>
<p>Dotar la iluminación de seguridad del perímetro de las instalaciones con sistemas de detección de infrarrojos supervisados por computadora.</p>	<p>La iluminación del perímetro se puede utilizar cuando la iluminación nocturna sea necesaria, pero manteniéndola apagada en otros momentos.</p>

Cuadro 13 Cuando se hayan agotado todas las demás opciones de mitigación y por motivos de seguridad humana sea necesaria la luz artificial, en el Cuadro que figura a continuación se proporcionan luminarias comerciales recomendadas para su uso cerca del hábitat de aves playeras migratorias y las que se deberán evitar.

Tipo de luz	Idoneidad para su uso cerca del hábitat de aves playeras migratorias
Vapor de sodio de baja presión	✓
Vapor de sodio de alta presión	✓
LED filtrado*	✓
Halogenuro metálico filtrado*	✓
LED blanco filtrado*	✓
LED con propiedades espectrales apropiadas de las especies	✓
LED blanco	✗
Halogenuro metálico	✗
Fluorescente blanco	✗
Halógeno	✗
Vapor de mercurio	✗

* 'Filtrado' significa que este tipo de luminaria *solo* se puede utilizar si se aplica un filtro para eliminar toda luz de longitud de onda problemática.

Apéndice I - Aves terrestres migratorias

La contaminación lumínica afecta a las aves terrestres migratorias en los lugares de reproducción y paso del invierno, pero el período de los ciclos anuales de las aves cuando migran entre las dos, y asociado a los hábitats de parada mientras las aves están en tránsito, podría constituir el momento de mayor preocupación. La colisión es una amenaza grave y puede producirse cuando las aves terrestres migratorias nocturnas se ven atraídas y desorientadas por luces de edificios u otras estructuras. Dichas colisiones podrían producirse de manera directa, durante la migración nocturna, o indirecta, cuando se chocan contra superficies reflectantes por las mañanas al sentirse atraídas por zonas edificadas tras una migración nocturna.

Otras amenazas de la contaminación lumínica incluyen impactos fisiológicos y conductuales que alteran los aspectos de la ecología y la fenología anuales, diarias y circadianas. La reducción de la emisión de luz artificial al entorno durante períodos de migración intensa puede reducir el impacto negativo sobre las aves terrestres migratorias. Las previsiones y los radares meteorológicos pueden usarse para predecir estos períodos intensos de migración en que la mitigación sea más importante.

Este apéndice abarca las aves terrestres migratorias, aunque mucha de la información incluida también es pertinente para mitigar los efectos de la contaminación lumínica sobre las aves terrestres no migratorias. No existe una definición sencilla de «aves terrestres», pero, por ejemplo, el alcance taxonómico de [Plan de Acción para las Aves Terrestres Migratorias de África y Eurasia \(AEMLAP\)](#) «comprende poblaciones de Galliformes, Gruiformes, Charadriiformes, Columbiformes, Caprimulgiformes, Apodiformes, Cuculiformes, Coraciiformes, Piciformes y Passeriformes, que son ecológicamente dependientes, principalmente, de hábitats terrestres y cuya población al completo, o una proporción significativa de la misma, franquea cíclica o previsiblemente una o más fronteras nacionales jurisdiccionales». No obstante, no todas las especies/poblaciones de las órdenes enumeradas están cubiertas por el AEMLAP y consideradas aves terrestres y, de hecho, algunos Charadriiformes están incluidos en el [Apéndice H - Aves costeras migratorias](#) (familias *Glareolidae*, *Scolopacidae* y *Charadriidae*). El [Memorando de Entendimiento sobre la Conservación de las Aves Rapaces Migratorias de África y Eurasia](#) incluye los Falconiformes y los Strigiformes.

Además, una búsqueda que combine «migratorio» y «aves terrestres» en [BirdLife International Data Zone](#) ofrece un resultado de 1290 especies existentes, incluidas (entre muchas otras) especies de las familias *Tyrannidae* (atrapamoscas tirano) (113 especies), *Accipitridae* (halcones, águilas) (80), *Muscicapidae* (papamoscas del Viejo Mundo y Saxicolinae) (76), *Hirundinidae* (golondrinas y vencejos) (58), *Parulidae* (chipes) (53) *Cuculidae* (cucos) (50) y *Thraupidae* (candelo unicolor) (40).

Estado de conservación

Las listas de especies de aves terrestres migratorias de África y Eurasia amenazadas a nivel mundial y casi amenazadas con tendencias globales de la población en declive y las especies con tendencias globales de la población estables o desconocidas están disponibles en el Anexo 3 del [AEMLAP](#). Ver Cuadro 14 para el estado de conservación de las especies de aves terrestres según la Lista Roja de la UICN.

Cuadro 14: estado de conservación de las aves terrestres según la [UICN](#)

	Amenazadas						
	CR	EN	VU	Subtotal amenazadas	NT	LC	DD
<i>Accipitriformes</i>	13	20	24	57	31	162	1
<i>Caprimulgiformes</i>	12	19	23	54	39	498	10
<i>Charadriiformes</i>	11	15	25	51	45	281	2
<i>Columbiformes</i>	13	18	34	65	50	237	1
<i>Coraciiformes</i>	4	0	13	17	26	142	1
<i>Cuculiformes</i>	2	2	8	12	8	131	0
<i>Falconiformes</i>	0	2	6	8	6	50	0
<i>Galliformes</i>	11	20	45	76	48	183	0
<i>Gruiformes</i>	9	11	29	49	14	104	2
<i>Passeriformes</i>	91	196	348	635	515	5450	24
<i>Piciformes</i>	3	9	14	26	43	414	1
<i>Strigiformes</i>	4	11	28	43	27	167	2

Legenda: CR (en peligro crítico), EN (en peligro), VU (vulnerables), NT (casi amenazadas), LC (menor preocupación), DD (datos insuficientes)



Figura 30 Avefría sociable (*Vanellus gregarius*). Foto: Sergey Dereliev.

Distribución y hábitat

Un patrón común de las aves terrestres migratorias es reproducirse en biomas templados, boreales o árticos del hemisferio norte durante el verano boreal y pasar el período no reproductivo en biomas más cálidos del hemisferio norte, templados y subtropicales, y en los trópicos del hemisferio norte y sur, con lo que un número reducido de especies recorren distancias migratorias muy largas para llegar a las zonas templadas del hemisferio sur durante el verano austral (Kirby et al., 2008). Las migrantes intratropicales siguen la «época de lluvias» productiva, puesto que la convergencia intertropical oscila anualmente del Trópico de Cáncer al Trópico de Capricornio y viceversa. El patrón migratorio predominante en el hemisferio sur es que las aves se reproduzcan en latitudes templadas de Sudamérica, África y Australasia y migren a los trópicos y zonas subtropicales en el invierno austral (Kirby et al., 2008).

Para una revisión detallada de las rutas migratorias de aves, ver PNUMA/CMS (2014), teniendo en cuenta que una ruta migratoria se define como «una región geográfica dentro de la cual una especie migratoria, un grupo de especies migratorias o una población distinta de una especie migratoria concreta completa todos los componentes de su ciclo anual (reproducción, muda, parada, no reproducción etc.). Para algunas especies y grupos de especies, estas rutas migratorias son distintas «rutas» que unen una red de emplazamientos clave. Para otras especies/grupos, las rutas migratorias están más dispersas» (PNUMA/CMS, 2014). Debería tenerse en cuenta que, si bien las rutas migratorias agrupan a las aves en estrategias generalizadas y patrones de movimientos, los movimientos de frentes amplios podrían caracterizar a estas estrategias y patrones. Además, las rutas migratorias no capturan necesariamente todos los patrones y estrategias, dado que algunas poblaciones y especies atraviesan múltiples rutas migratorias.

La Ruta Migratoria de Asia Oriental-Australasia está limitada por el meridiano 90 por el oeste y el Océano Pacífico por el este (Yong et al., 2021). Incluye biomas boreales, templados y tropicales y cuenta con 387 especies de aves terrestres migratorias, lo que la convierte la ruta migratoria más diversa del mundo. También cuenta con las especies más amenazadas. En la Ruta Migratoria de Asia Oriental-Eustralasia, se reconocen dos corredores principales: la ruta «isleña» u «oceánica», que une el este de Rusia y Japón con Filipinas y el este de Indonesia, y la ruta «continental», que une el este de Rusia, China y el Sudeste Asiático continental.

Más de dos mil millones de aves recorren el sistema de migración de aves afropaleártico al año, en total más de 100 especies, más del 80 % de las cuales son aves cantoras y passeriformes cercanos (Briedis et al., 2019; Moreau, 1972). Las migrantes de larga distancia viajan entre zonas de reproducción europeas y zonas no reproductivas subsaharianas por dos rutas migratorias definidas de manera amplia (la ruta migratoria occidental y la ruta migratoria oriental) que convergen entre los meridianos 10 y 20 este en Centroeuropa (Briedis et al., 2019).

Miles de millones de aves terrestres migran cada año en Norteamérica. En primavera, 2500 millones de aves terrestres migratorias entran y salen de estados contiguos del sur del país y 2700 millones, de los del norte (Dokter et al., 2018). Se han identificado tres rutas migratorias en Norteamérica: una ruta migratoria occidental ubicada en el oeste del meridiano 103 oeste y una ruta migratoria oriental y una central que están interrelacionadas y se encuentran al este del meridiano 103 oeste (La Sorte et al., 2014). La mayoría de aves terrestres del nuevo mundo pasan el invierno en latitudes templadas tropicales o meridionales y la mayor parte de ellas se quedan al norte del ecuador, en México, las Antillas o el norte de Centroamérica, mientras que algunas especies siguen viajando hasta llegar a Sudamérica (Faaborg et al., 2010). Cuando los reproductores de zonas templadas del norte se desplazan hacia el norte durante la primavera neártica, las aves de las zonas templadas de Sudamérica se desplazan hacia el norte para evitar el invierno austral. Una media de 2100 millones de aves migra a través del golfo de México en primavera para llegar a sus zonas de reproducción neárticas (Horton et al., 2019b). También tiene lugar migraciones espaciales menores, por ejemplo, de pájaros que se reproducen a grandes alturas y que migran a alturas más bajas antes del invierno (Faaborg et al., 2010). Algunas especies tropicales de tierras bajas también migran en función de los ciclos húmedos y secos anuales.

Las aves terrestres migratorias necesitan un hábitat adecuado para la alimentación, el descanso o la muda durante su migración (Newton, 2008). Se emplean diferentes estrategias para moverse entre hábitats durante la migración. Algunas aves requieren hábitats cercanos unos de otros, otras recorren grandes distancias para superar barreras ecológicas tales como extensiones de mares, desiertos o montañas antes de llegar al siguiente hábitat pertinente, y otras vuelan largas distancias de un hemisferio al otro. Es esencial que las aves migratorias cuenten con zonas de alimentación adecuadas antes de la salida y a su llegada, así como con lugares de parada adecuados.

Efectos de la luz artificial sobre las aves terrestres migratorias

Es de sobra sabido que, de noche, la luz tiene efectos potentes sobre las aves migratorias. Por ejemplo, existen registros centenarios de considerables colisiones contra faros, y la caza, el turismo y la investigación han utilizado sistemáticamente la luz para capturar aves (Harvie-Brown, 1880; Beadnell, 1937; Jones y Francis, 2003). Como ejemplo, posiblemente el lugar

de captura de aves terrestres más conocido sea Ngulia Lodge, en Kenia, donde se usaban focos para iluminar la vida silvestre para el turismo en la década de 1960, antes de que diera comienzo un programa de redes de niebla y anillamiento que ha anillado a casi un millón de aves migratorias (Moreau, 1972; Watson, 2017).

Se ha reconocido que las aves marinas y las aves costeras migratorias necesitan protección contra la contaminación lumínica y están incluidas en los Apéndices G y H de estas Directrices. Las aves terrestres migratorias están también en riesgo de sufrir los efectos negativos de la luz artificial por la noche, con amenazas adicionales como colisiones con edificios, motivo por el que se ha elaborado este apéndice a fin de ofrecer una mayor orientación.

De las 298 especies de aves terrestres migratorias consideradas por Cabrera-Cruz et al. (2018), todas menos una se enfrentaban a la contaminación lumínica en su área de distribución geográfica. La contaminación lumínica fue relativamente superior dentro de las zonas de paso de las aves terrestres migratorias nocturnas en comparación con sus áreas de distribución durante el resto de fases de su ciclo anual. Las migrantes de larga distancia suelen salir de y llegar a zonas con bajos niveles de contaminación lumínica, pero durante la migración, suelen atravesar zonas con un elevado desarrollo urbano y contaminación lumínica. Horton et al. (2019a) concluyó que en el este de los EE. UU., las rutas migratorias otoñales conducen a las aves terrestres por zonas con más contaminación lumínica que las rutas primaverales, mientras que en la costa este de los EE. UU., las aves terrestres presentan una mayor exposición durante la migración primaveral. Chicago, Houston y Dallas son las ciudades estadounidenses en las que las aves terrestres están más expuestas a la luz antropogénica, independientemente de la estación.

Las rutas de vuelo de las aves terrestres pueden verse afectadas por la luz artificial por la noche, ya sea por su atracción o, al contrario, aversión. La atracción puede producirse mediante un «efecto llamada», manifiesto en numerosas publicaciones tales como, recientemente, la de Van Doren et al. (2017). La iluminación de edificios con luz interior y exterior, así como las contribuciones de otras estructuras como instalaciones artísticas, escenarios, estadios, torres y vallas publicitarias, puede crear un resplandor visible a entre decenas y centenares de kilómetros. Numerosas aves (p. ej., Bruderer et al., 2018; dashboard.birdcast.info) vuelan entre el nivel del suelo y 700 metros de altura, lo que las aproxima a luces atractivas y desorientadoras y, por tanto, a estructuras contra las que pueden colisionar (e.g. Van Doren et al., 2021; Korner et al., 2022; Lao et al., 2023). Si bien investigaciones previas destacaron que la edad, la migración, la fenología y, a menudo, ciertas condiciones meteorológicas están vinculadas con las colisiones, sobre todo aquellas asociadas con una visibilidad reducida y un aumento de humedad del aire (Elmore et al., 2021a; Riding et al., 2021; Colling et al., 2022; Lao et al., 2023; Scott et al., 2023), el aire puro también está vinculado con grandes fenómenos de atracción cuando la iluminación se extiende a lo largo de decenas de kilómetros (e.g. Van Doren et al., 2017). Las aves se agregan en grandes números, circunvuelan y/o reducen su velocidad de vuelo y permanecen en proximidad a la luz, lo que aumenta los riesgos de colisión y depredación y altera su conducta social (p. ej., llamada al vuelo) Van Doren et al., 2017; Winger et al., 2019).

Las luces atraen y desorientan a aves migratorias nocturnas. Numerosos estudios subrayan estas respuestas de comportamiento, incluidas la atracción y la desorientación (p. ej., agregación, circunvuelo) y la presencia desproporcionada de aves en las áreas urbanas

debido a estos comportamientos, así como el elevado número de aves muertas debido a colisiones (Allen, 1880; Gastman, 1886; Cochran y Graber, 1958; Evans Ogden, 1996; Longcore y Rich, 2004; Gauthreaux y Belser, 2006; Spoelstra y Visser, 2013; La Sorte et al., 2017; McLaren et al., 2018; Winger et al., 2019; La Sorte y Horton, 2021; Korner et al., 2022).

Mecanismos mediante los cuales la luz afecta a las aves terrestres

El mecanismo que hace que las aves se agreguen cuando hay luz no se comprende en su totalidad y podría deberse a una alteración en la magnetorrecepción, a una mala interpretación de los indicios de luz natural o a un efecto sobre la visión aviar, tal como un trastorno, o porque permite «un refugio visual» (Evans et al., 2007).

Muchas orientaciones de la luz afectan a las aves. La iluminación ascendente y las luces de edificios o estructuras altas afectan al comportamiento de vuelo de las aves terrestres migratorias nocturnas (Cabrera-Cruz et al., 2021). Van Doren et al. (2017) concluyeron que las aves reaccionaron a haces de luz verticales de hasta cuatro km por encima del suelo y, lo que es más importante, con el cielo despejado (ver estudio de caso de «[Tribute in Light](#)»). Sin embargo, las luces bajas ascendentes también pueden tener un efecto sobre el comportamiento de las aves terrestres, lo que hace que giren en horizontal o vertical dentro de sus rutas de vuelo (Cabrera-Cruz et al., 2021).

La colisión es un gran motivo de preocupación al tener en cuenta cómo la luz artificial por la noche afecta a las aves terrestres migratorias. Un estudio en Minneapolis, Minnesota, concluyó que la zona iluminada y la proporción iluminada tenían una relación positiva estadísticamente significativa con el número de colisiones de aves terrestres contra fachadas de edificios (Lao et al., 2020). Este estudio determinó que «la zona de ventanas iluminadas y la proporción de cristal iluminado de noche fueron importantes predictores de colisiones, y que la zona iluminada en particular fue un predictor mejor que la zona acristalada, el porcentaje acristalado y el tamaño máximo y medio de los cristales». Loss et al. (2019) también «encontraron pruebas de que la proporción de cristal iluminado de noche influye en las víctimas de la colisión de aves en primavera, así como en el número de especies que colisionan en primavera y en general». Un estudio en el Post Tower de Bonn, Alemania, concluyó que su fachada iluminada atraía a aves (sobre todo paseriformes) que posteriormente colisionaban contra el edificio (Korner et al., 2022). Al reducirse la iluminación de la fachada, se producía una reducción significativa del número de víctimas. A diferencia de muchos otros estudios, Korner et al. buscaron víctimas durante la noche. Determinaron que la mayoría de víctimas se producían de noche y no, como en ocasiones se asume, a primera hora de la mañana.

En EE. UU., entre 365 y 988 millones de aves mueren cada año debido a colisiones con edificios y otras estructuras construidas por el hombre (Loss et al., 2014). La mayoría de estas muertes implican colisiones con edificios, en especial ventanas, y afectan a especies migratorias nativas (Elmore et al., 2021b). El número de colisiones mortales de aves en EE. UU., Canadá y México es el mayor para especies migratorias, insectívoras y habitantes de bosques (Elmore et al., 2021a). De las aves muertas en torres de comunicación en EE. UU. y Canadá, la mayoría son migrantes neotropicales y el 97,4 % de aves muertas son paseriformes, en su mayor parte chipes (Parulidae, 58.4%) (Longcore et al., 2013). Las publicaciones más visibles relativas a colisiones con edificios hacen referencia a muestreos en el este de EE. UU. durante la migración, y este sesgo está representado en las especies

que han sido identificadas como especialmente vulnerables a colisiones (Loss et al., 2014). El momento en que se efectúe la migración podría atraer la susceptibilidad de una especie a la colisión; las aves que migran de noche están más expuestas a sufrir una colisión que las migrantes diurnas (Nichols et al., 2018; Colling et al., 2022). Dentro de las especies, los ejemplares juveniles están sobrerrepresentados, posiblemente debido a su falta de experiencia (Colling et al., 2022).

Las colisiones podrían ser más probables de noche en algunas zonas durante ciertas condiciones meteorológicas, por ejemplo, cuando hay nubes bajas, niebla o lluvia y las aves vuelan a alturas más bajas (Newton, 2007; Elmore et al., 2021b). Los estudios en instalaciones marinas han determinado que los paseriformes migratorios se ven más atraídos por la luz artificial en noches cubiertas (Poot et al., 2008; Rebke et al., 2019). El efecto de atracción de la luz azul en desfiladeros de cadenas montañosas del sudoeste de China también fue mayor durante noches con niebla y viento en contra; la mayoría de las aves capturadas fueron paseriformes (456 de 705 aves), así como garzas, cucos, palomas y polluelas (Zhao et al., 2020). No obstante, la atracción incluso con el cielo despejado (p. ej., Van Doren et al., 2017) y un muestreo imperfecto de la mortalidad sugieren que es necesaria más información para definir claramente en qué condiciones son más frecuentes esas colisiones.

Algunos estudios sugieren que la zona acristalada o de ventanas puede ser un factor más influyente que el área iluminada. En base a las víctimas encontradas por la mañana, Parkins et al. (2015) concluyeron que la cantidad de vidrio de la fachada de un edificio cercano a un parque urbano en Nueva York podría tener un mayor efecto sobre las colisiones que la cantidad de luz emitida desde la fachada. La configuración del cristal en las fachadas de los edificios también podría ser relevante durante el día, con reflejos de aves confusas de hábitats cercanos (Schneider et al., 2018). Entre las posibles soluciones se encuentran barreras físicas que cubran los ventanales, el uso de patrones en cristales fabricados que sean visibles por las aves cuando se vean desde el exterior o la aplicación de adhesivos que cubran la superficie acristalada de manera uniforme (Klem, 2008). Deberán aplicarse adhesivos o pegatinas para que los huecos entre ellos sean reducidos (5-10 cm). También podrían utilizarse recubrimientos contra luz ultravioleta (UV) que sean visibles para las aves, pero no para los humanos. El uso de elementos individuales como la silueta de un halcón no ha resultado ser eficaz. Hay disponible más información [aquí](#) y [aquí](#).

Un estudio que investigó más de 70 000 colisiones nocturnas de aves contra edificios en Cleveland, Ohio, y en Chicago, Illinois, en EE. UU., encontró una relación entre la llamada al vuelo y las colisiones donde las aves terrestres se habían visto atraídas por la luz artificial por la noche (Winger et al., 2019). Esto podría ser porque las llamadas de individuos que han resultado atraídos por la luz provoca que más aves sientan atracción por la zona iluminada. El comportamiento durante la llamada al vuelo es, por tanto, un predictor importante del riesgo de colisión (Winger et al., 2019). Gillings y Scott (2021) determinaron que los índices de llamada de los tordos de migración nocturna en el Reino Unido fueron superiores sobre áreas urbanas iluminadas en comparación con aldeas más oscuras. Los mecanismos que intervienen no están claros: si las aves están modificando sus rutas para pasar sobre zonas iluminadas, si vuelan a alturas más bajas sobre zonas iluminadas, si aumentan su índice de llamadas sobre áreas iluminadas o si permanecen más tiempo sobre áreas iluminadas (Watson et al., 2016). Al comparar la abundancia en distintos lugares deben tenerse en cuenta los efectos de la luz artificial (Gillings y Scott, 2021).

La fototaxia positiva no es la única reacción observada en aves terrestres migratorias. En ocasiones, las aves migratorias podrían evitar zonas intensamente iluminadas (fototaxia negativa). Las pruebas experimentales demuestran que los haces brillantes provocan cambios desagradables en la dirección, la velocidad y la altitud de las aves migratorias (Bruderer et al., 1999). Ciertos datos observacionales respaldan estos hallazgos. Por ejemplo, las aves que hacen parada en Sabancuy y Cancún, en la península de Yucatán, en México, durante su migración evitaron las luces brillantes durante su parada en primavera (Cabrera-Cruz et al., 2020). En Cancún, también pararon más aves en zonas alejadas de luces brillantes en otoño/invierno, aunque seguía habiendo densidades relativamente elevadas de aves cerca de las zonas iluminadas. Cabrera-Cruz et al. (2020) propusieron que las aves ingenuas y atraídas por la luz artificial por la noche resultan eliminadas debido a la selección natural durante su migración hacia el sur en otoño y que un porcentaje más elevado de individuos resistentes a la luz artificial por la noche vuelven al norte en primavera.

Que las aves sientan atracción o repulsión por la luz artificial por la noche durante su migración podría tener como resultado que la migración sea menos eficiente y que aumenten el tiempo y la energía necesarios para completarla (La Sorte et al., 2017; Rebke et al., 2019). Si las aves se ven atraídas a áreas urbanas, podrían encontrarse con un hábitat menos apto para la búsqueda de alimento, así como una mayor cantidad de peligros, como depredadores (gatos, perros, ratas, etc.) y riesgos de colisión (La Sorte et al., 2017).

Es de esperar que los efectos de la luz artificial por la noche durante la migración y otros comportamientos estacionales sean sustanciales, sobre todo debido a la alteración de los relojes biológicos. Por ejemplo, las aves cantoras confunden la luz artificial por la noche con fotoperíodos más prolongados (Dominoni y Partecke, 2015), lo que se relaciona con los adelantos de las fechas de puesta a escala continental en EE. UU. (Senzaki et al., 2020). Menos estudios han analizado los efectos de la luz artificial por la noche en el momento de la migración. Como resultado de interpretar la luz artificial por la noche como un fotoperíodo más prolongado, las golondrinas purpúreas (*Progne subis*) que experimentaron el número más elevado de noches con luz artificial por la noche en sus lugares de paso del invierno partieron hacia su migración primaveral una media de ocho días antes que aquellas que no experimentaron luz artificial (Smith et al., 2021). También llegaron ocho días antes a sus lugares de reproducción. Es posible que las migrantes nocturnas que sincronizan su migración con el ciclo lunar sufran un desfase similar (Norevik et al., 2019). Una llegada tardía o adelantada a las zonas de reproducción o de invernada provocada por la luz artificial por la noche implica que la supervivencia y el éxito reproductivo podrían verse afectados si hay un desfase respecto a las condiciones medioambientales.

Las aves migratorias y no migratorias también experimentan otros efectos de la luz artificial por la noche. En función de su anatomía, en ocasiones pueden beneficiarse de unas oportunidades de alimentación ampliadas de manera artificial, pero también implica unos mayores costes físicos para ellas (Lebbin et al., 2007; Sanders et al., 2021; Senzaki et al., 2020). Entre ellos se encuentran una fisiología y una salud deterioradas debido a la alteración del reloj circadiano (p. ej., Dominoni et al., 2013; Kernbach et al., 2020). Dado que las migrantes de larga distancia suelen ser insectívoras, también podrían verse especialmente afectadas por las reducciones masivas de las poblaciones de insectos, que se han asociado a la luz artificial por la noche (Owens et al., 2020). La atracción hacia la luz artificial por la noche también podría afectar de manera negativa a las aves terrestres migratorias nocturnas mediante el aumento de su exposición a la contaminación del aire y a las partículas finas en

suspensión ($PM_{2.5}$) en particular (La Sorte et al., 2022). De los tres sistemas de rutas migratorias evaluados (las Américas, África-Europa y Asia Oriental-Australasia) por La Sorte et al. (2022), la Ruta Migratoria de Asia Oriental-Australasia tenía las correlaciones más marcadas entre luz artificial por la noche y $PM_{2.5}$ dentro de sus regiones de paso.

Longitud de onda, intensidad y dirección

Las aves terrestres son capaces de diferenciar entre y, potencialmente, reaccionar de manera distinta a distintos colores (Rebke et al., 2019). La mayoría de aves terrestres tienen un espectro visual que se extiende hasta el rango de la UV, así como una percepción no visual de la luz, por ejemplo, en el cerebro (Falcón et al., 2020). Además de la información visual, las aves migratorias también usan información del campo magnético de la Tierra para orientarse. Presumiblemente, la magnetorrecepción usa dos rutas. Una, supuestamente ubicada en el pico, utiliza magnetita como sustrato para la orientación. La segunda depende de la luz y podría emplear una proteína, probablemente un criptocromo, que se activa con la luz azul y está situada en la retina, entre otros en los conos (Günther et al., 2018; Pinzon-Rodriguez et al., 2018). En el caso de las aves enjauladas, la luz roja monocromática y la oscuridad conducen a la desorientación. Sin embargo, las migrantes por libre se orientan satisfactoriamente de noche, por ejemplo, gracias a las estrellas o posiblemente utilizando su brújula magnética independiente de la luz.

Algunos estudios han intentado determinar si las aves terrestres reaccionan a distintas longitudes de onda de la luz. En un estudio de Poot et al. (2008), se registró que las aves migratorias nocturnas se sentían atraídas y desorientadas por la luz roja y blanca (con una radiación visible de longitud de onda larga). A Poot et al. (2008) les costó identificar aves a nivel de especie, pero identificaron que se trataba en su mayoría de paseriformes, tales como tordos y aves cantoras de menor tamaño, pero también de aves costeras, patos y gansos. Gauthreaux y Belser (2006) también comunicaron que las aves migratorias se sentían atraídas por las longitudes de onda largas en la luz emitida por ceilómetros y que cuando las longitudes de onda larga se filtraban para que se emitiera principalmente luz UV, la atracción se reducía en gran medida. También informaron de que las luces rojas causaban una mayor desorientación que las luces blancas estroboscópicas.

Poot et al. (2008) afirmaron que, en su estudio, las aves se veían menos desorientadas por la luz azul y verde (que contenía menos o ninguna radiación visible de longitud de onda larga). Evans (2010) cuestionó los hallazgos de Poot et al. debido a la variabilidad en las condiciones de las nubes durante los períodos del estudio, los tamaños de las muestras y la falta de información sobre la densidad migratoria. Evans (2010) recomendó una investigación más exhaustiva, pero también sugirió que «si bien los encuentros con luz roja podrían causar la inhabilitación del sistema de orientación geomagnética de las aves, es posible que la luz roja sea, en última instancia, más segura, puesto que las aves son en teoría mucho menos sensibles a ella visualmente por la noche y, por lo tanto, se vería afectada por ella un número menor de aves». Un estudio realizado por Evans et al. (2007) había concluido que «no existen pruebas de que la agregación de las aves se produzca como consecuencia de que una luz sea roja», y Zhao et al. (2020) también determinaron que las aves migratorias nocturnas (paseriformes en su mayor parte) se veían extrañamente atraídas hacia la luz roja de longitud de onda larga. En su estudio, la luz azul de longitud de onda corta provocaba la mayor respuesta fototáctica. Rebke et al. (2019) determinó que una cantidad significativamente

superior de passeriformes se vieron atraídos por la luz continua verde, azul y blanca más que por la roja en una instalación marina. Recientemente, Adams et al. (2021) revisaron una investigación que analizaba los efectos de la luz artificial por la noche sobre las aves y concluyeron que la mayoría de estudios habían observado *Passeriformes* además de aves costeras y aves marinas. Subrayaron la necesidad de una investigación más exhaustiva sobre cómo las luces de color afectan a las aves al descubrir que la mayoría de los estudios se habían centrado en la luz roja.

La luz intermitente (en torres de balizamiento para la aviación, por ejemplo) provoca una agregación menor de aves cantoras migratorias nocturnas que la iluminación continua (Evans et al., 2007). Las torres de comunicación iluminadas únicamente con luces intermitentes (luces blancas estroboscópicas intermitentes, luces rojas de tipo estroboscópico o luces rojas intermitentes incandescentes) causaron una menor mortalidad de aves si la comparamos con esas mismas torres iluminadas con una combinación de luces rojas intermitentes y luces rojas no intermitentes (Gehring et al., 2009). Rebke et al. (2019) concluyeron que al cruzar el mar cuando las estrellas no eran visibles, más passeriformes migratorios nocturnos se sintieron atraídos hacia la luz continua que hacia luces parpadeantes.

Tanto la intensidad de la luz como la longitud de onda podrían ser relevantes (Cohen et al., 2021), aunque es sabido que los passeriformes migratorios nocturnos que sobrevuelan el mar se han sentido atraídos incluso por fuentes de luz de una intensidad relativamente baja (Rebke et al., 2019).

Mitigación

Desde 1993, [Fatal Light Awareness Program \(FLAP\) Canada](#) trabaja para reducir las colisiones mortales de aves terrestres contra edificios. En 1995, FLAP Canada lanzó la primera iniciativa «[Lights Out](#)» con World Wildlife Fund Canada para que los administradores de los edificios apagaran las luces por la noche para ayudar a las aves terrestres migratorias. Esta campaña ha dado lugar a muchas otras [iniciativas similares en Norteamérica](#) y una serie de ciudades y organizaciones han elaborado directrices sobre cómo reducir la contaminación lumínica para las aves terrestres y cómo mejorar el diseño de edificios para evitar colisiones (ver Orientación relacionada). En EE. UU., la [disuasión para la colisión de aves](#) se incluye como motivo de orgullo en el sistema Green Building Council's LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), que establece estándares de sostenibilidad para las industrias de la construcción comercial, residencial e institucional.

Apagar las luces exteriores tiene unos efectos positivos drásticos e inmediatos en la reducción de las respuestas de comportamiento de las aves respecto a la luz y les permite reanudar los comportamientos migratorios típicos (Van Doren et al., 2017). Esto ha quedado demostrado claramente en «[Tribute in Light](#)», en la ciudad de Nueva York City, donde las densidades de aves cercanas a la instalación «superaron magnitudes 20 veces mayores que las densidades de referencia circundantes durante las observaciones anuales». Sus trastornos de comportamiento desaparecían cuando las luces se apagaban, lo que pone de relieve que la eliminación de la luz durante las noches con migraciones sustancial de aves es una estrategia viable para minimizar posibles interacciones fatales relativas a la luz artificial por la noche, las estructuras y las aves.

Para algunas especies, las noches de migración intensa pueden preverse, de manera que las medidas de mitigación puedan centrarse en momentos en que exista un mayor riesgo para las aves terrestres migratorias. Los radares meteorológicos pueden utilizarse para

predecir la migración, por lo que la mitigación puede abordarse en períodos concretos de tiempo y/o condiciones meteorológicas específicas (Elmore et al., 2021b). Horton et al. (2021) determinaron que la mayoría del paso migratorio total (54,3 %) tuvo lugar en el 10 % de noches de cada estación en los Estados Unidos contiguos y, así pues, recomendaron que el uso de predicciones ecológicas a corto plazo implicaría que podrían adoptarse medidas de mitigación en función de «alertas de conservación dinámicas a tiempo real». Esfuerzos de mitigación como los programas «Lights Out», «Lights Out Alerts» de BirdCast (ver [aquí](#), [aquí](#), y [aquí](#)) y otras alertas de migración concretas podrían estar fundamentados por datos de radares y podrían tener en cuenta períodos concretos de la noche en función de las velocidades de migración y de las condiciones meteorológicas (Elmore et al., 2021b).

Evaluación del impacto medioambiental de la luz artificial sobre las aves terrestres migratorias

Como mínimo, las infraestructuras con una iluminación artificial que sea visible desde el exterior deberían implementar las [Mejores prácticas en el diseño de la iluminación](#). Debería llevarse a cabo una EIA allí donde haya hábitats importantes para aves terrestres a una distancia relevante de un proyecto. Las siguientes secciones repasan el [proceso de una EIA](#) con una consideración específica hacia las aves terrestres.

Allí donde la luz artificial pueda afectar a las aves terrestres migratorias, deberían tenerse en cuenta las medidas de mitigación en el momento más temprano del proyecto y usarse para fundamentar la fase de diseño.

Es importante reconocer las características espaciales y temporales de los corredores migratorios para algunas especies de aves terrestres migratorias. Las especies suelen utilizar rutas migratorias establecidas en momentos predecibles y la luz artificial que interseca con una ruta migratoria superior debería evaluarse de la misma manera para las poblaciones de tierra.

Orientación relacionada

- [AEWA Plan of Action for Africa 2019-2027](#)
- [East Asian – Australasian Flyway Partnership 2019-2028 Strategic Plan](#)
- [Bird Cast](#)
- [FLAP](#)
- [Toronto's Best Practices Effective Lighting](#)
- American Bird Conservancy's [Bird-Friendly Building Design](#)
- Asesoramiento aprobado en materia de conservación.

Personal cualificado

El diseño/gestión de la iluminación y el proceso de la EIA deberían llevarse a cabo por parte de personal cualificado adecuado. Los planes de gestión de iluminación deberían desarrollarse y revisarse por parte de profesionales de iluminación cualificados que consulten con ornitólogos y/o ecologistas debidamente capacitados.

Fase 1: Describir la iluminación del proyecto

El tipo de información recopilada durante esta fase deberá incluir el examen de los [efectos de la luz artificial sobre las aves terrestres migratorias](#). Las aves terrestres son susceptibles a estos efectos cuando están activas durante la noche, mientras migran, cuando buscan el alimento, etc. Se deberá examinar la ubicación y la fuente de luz (tanto directa como la proveniente del resplandor del cielo) en relación con las áreas de reproducción, invernada y parada, así como la ruta de migración.

Fase 2: Describir la población y el comportamiento de las aves terrestres migratorias

Se deberán describir las especies, la fase de vida y el comportamiento de las aves terrestres presentes en el área de interés. En la descripción se deberá incluir el estado de conservación de la especie, la abundancia de aves, el grado de dispersión/localización de la población, la importancia regional de la población y la estacionalidad de las aves marinas que utilizan el área.

Cuando no haya suficientes datos disponibles para comprender la importancia de la población o la demografía, o cuando sea necesario documentar el comportamiento efectivo de las aves terrestres, puede que sea necesario realizar estudios sobre el terreno y hacer un seguimiento biológico.

Seguimiento biológico de las aves terrestres

Todo estudio biológico relacionado con un proyecto deberá ser elaborado, supervisado y los resultados interpretados por un biólogo o un ornitólogo debidamente cualificado para asegurar la fiabilidad de los datos.

Los objetivos del seguimiento en un área que pueda verse afectada por la luz son:

- Comprender el uso del hábitat y el comportamiento de la población (p. ej., migración, búsqueda de alimento, reproducción). Podría ser necesario determinar los hábitats importantes para las aves terrestres país por país. Los sitios [Natura 2000](#) de Europa y las [Áreas Clave para la Biodiversidad \(KBA\)](#) podrían ser un punto de partida.
- comprender el tamaño y la importancia de la población
- describir el comportamiento de las aves terrestres antes de la introducción/mejora de la luz

Los datos se utilizarán para documentar el proceso de EIA y evaluar si las medidas de mitigación son satisfactorias. En el Cuadro 15 se resumen los parámetros mínimos de seguimiento sugeridos (lo que se mide) y las técnicas (cómo se miden).

Cuadro 15. Información biológica mínima necesaria recomendada para evaluar la importancia de una población de aves terrestres migratorias. Nota: la información contenida en este Cuadro no es prescriptiva y deberá evaluarse caso por caso.

Actividad de estudio	Duración	Referencias
Seguimiento visual directo – durante el día y la noche cuando los observadores pueden ver aves en escenarios nocturnos iluminados.	Múltiples veces al día durante períodos punta de movimiento y también a lo largo del año.	Van Doren y Horton, 2018 Loss et al., 2023 Bird Cast
Análisis basado en radares usando redes de radares meteorológicos a gran escala o un seguimiento a menor escala.	Esto puede ocurrir cada 5-10 minutos en lo que respecta a los escaneos, y de manera continuada al menos el 10 % de las noches de la época de migración, idealmente no de manera aleatoria.	Globam
Seguimiento acústico para detectar aves migratorias nocturnas que sean vocales.	La misma que la anterior.	
Generadores de imágenes termales para ver la migración cuando se produce.	Similar a la anterior.	
Observación lunar para entender los patrones amplios de movimientos.	Cuando esté disponible.	
Análisis de dispositivos de rastreo individuales que proporcionen detalles sobre la distribución aérea nocturna de las aves.	Cuando esté disponible.	
Estudios de mortalidad basados en la ciencia ciudadana.	Periódicamente durante el día y la noche.	

Seguimiento adicional de aves terrestres migratorias

- Llevar a cabo un seguimiento del comportamiento de la fase de cría antes de que en el proyecto se comience a establecer un punto de referencia para evaluar los cambios en el comportamiento de la fase de cría durante la construcción y el funcionamiento.
- Medir los niveles de luz nocturna en los sitios de alimentación y los sitios de descanso nocturnos antes y después del período de construcción de un proyecto.
- Hacer un seguimiento de los sitios de descanso nocturno utilizando dispositivos de grabación acústica y/o cámaras infrarrojas para determinar el uso del sitio de descanso nocturno después de la introducción de luz artificial.
- Instalar cámaras trampa en lugares clave para el seguimiento de las caídas de aves.
- Realizar evaluaciones nocturnas de la iluminación/zonas objeto, para identificar y recolectar las aves en tierra. También deberán llevarse a cabo estudios diurnos para que puedan identificarse colisiones contra cristales. Realizar observaciones después del anochecer y antes del amanecer con gafas de visión nocturna para evaluar la actividad/interacciones.
- Rastrear los movimientos utilizando un radar terrestre para determinar las rutas de vuelo efectivas.

Al mismo tiempo que los datos biológicos, deberán recopilarse también, como mínimo, los datos cualitativos descriptivos sobre los tipos, la ubicación y la directividad de la luz visible. Las imágenes de la cámara de mano pueden ayudar a describir la luz. Los datos cuantitativos sobre el resplandor existente del cielo deberán recopilarse, si es posible, de manera biológicamente significativa, reconociendo las dificultades técnicas para obtener estos datos. Véase [Medición de la luz biológicamente relevante](#) para su examen.

Fase 3: Evaluación de riesgos

El objetivo es gestionar la iluminación de manera que los comportamientos normales de las aves terrestres migratorias no se vean perturbados. Deberían poder llevar a cabo comportamientos fundamentales, como la búsqueda de alimento y la reproducción. Tampoco se les debería desplazar fuera de los hábitats importantes. Estos objetivos deberán tenerse en cuenta en el proceso de evaluación de riesgos.

Al considerar los posibles efectos de la luz en las aves terrestres migratorias, en la evaluación se deberá tener en cuenta el entorno de luz existente, el diseño de iluminación propuesto y su mitigación/gestión, así como el comportamiento in situ de las aves terrestres. Se deberá tener en cuenta asimismo en qué modo perciben la luz las aves terrestres. En esta evaluación se deberá incluir también la información y perspectivas tanto de la longitud de onda como de la intensidad de la luz. Para saber en qué modo o si es probable que las aves terrestres vean la luz, se deberá realizar una visita al sitio por la noche y ver el área desde las zonas usadas por las aves. Se deberá examinar en qué modo las aves verán la luz cuando estén volando. Esto podría hacerse usando tecnología tal como drones.

Fase 4: Plan de gestión de la luz

En el plan deberá incluirse toda la información pertinente del proyecto (Fase 1), así como la información biológica (Fase 2). En el proceso de planificación deberán integrarse mapas de zonas importantes para aves terrestres migratorias y/o zonas de conflicto potenciales. El plan de gestión de la luz deberá describir la mitigación propuesta. Puede obtenerse una variedad de medidas de mitigación específicas para las aves terrestres migratorias consultando [Conjunto de opciones de mitigación para las aves terrestres migratorias](#) a continuación. En el plan se deberá describir también el tipo y el cronograma de seguimiento biológico y de la luz para asegurar que la mitigación cumpla con los objetivos del plan y los mecanismos para revisar la fase de evaluación de riesgos de la EIA. En el plan se deberán describir las opciones en caso de imprevistos, si el estudio biológico y de la luz o las auditorías de cumplimiento indican que la mitigación no está cumpliendo los objetivos establecidos.

Fase 5: Seguimiento biológico y auditoría de la luz

El éxito de la mitigación del impacto y la gestión de la luz deberán confirmarse mediante el seguimiento y la auditoría de cumplimiento, y los resultados deberán utilizarse para facilitar un enfoque de gestión adaptativa, a fin de asegurar la mejora continua.

El seguimiento biológico pertinente se describe en la Fase 2: Describir la población y el comportamiento de las aves terrestres migratorias. Se deberá emprender un estudio simultáneo de la luz e interpretarlo en el contexto de cómo perciben la luz las aves marinas y dentro de las limitaciones de las técnicas de estudio descritas en [Medición de la luz biológicamente relevante](#). Se deberá realizar una [auditoría](#), conforme se describe en el plan de gestión de la luz.

Fase 6: Examen

La EIA deberá incorporar un proceso de revisión para la mejora continua que permita unas mitigaciones mejoradas, cambios en los procedimientos y una renovación del plan de gestión de la luz.

Conjunto de opciones de mitigación de la luz para las aves terrestres migratorias

El diseño y los controles apropiados de la iluminación, así como la mitigación de los efectos de la luz, serán específicos del sitio/proyecto y de la especie. En el cuadro 16 se ofrecen un conjunto de opciones de gestión pertinentes para las aves terrestres migratorias. Estos deberán aplicarse junto con los seis principios de [Mejores prácticas en el diseño de la iluminación](#). No todas las opciones de mitigación serán pertinentes para todas las situaciones. En el cuadro 17 se proporciona una lista propuesta de tipos de luz apropiados para su uso cerca de hábitats importantes para las aves terrestres migratorias y tipos que se deberán evitar. Siempre que sea posible, deberán aplicarse principios precautorios para reducir la luz artificial por la noche a fin de proteger a las aves terrestres migratorias.

Cuadro 16: Medidas de gestión de la luz para aves terrestres migratorias

Medidas de gestión	Información detallada
Apagar las luces todo el tiempo que sea posible durante la noche.	Las luces exteriores e interiores que emitan luz difusa hacia el exterior deberán apagarse todo el tiempo que sea posible durante la noche para evitar los efectos negativos sobre las aves terrestres migratorias.
Mantener la iluminación exterior al mínimo.	Intentar mantenerse por debajo de los niveles lumínicos permitidos por la ley para la iluminación exterior, teniendo en cuenta que la función deseada puede alcanzarse con unos niveles lumínicos más bajos. Para los humanos, la buena visibilidad depende de evitar unos contrastes demasiado elevados entre la luminancia visible máx. y mín. Si se reduce la luminancia visible, p. ej., mediante una protección o un diseño óptico adecuado, unos niveles de iluminancia reducidos generales pueden lograr una mejor visibilidad que unos niveles de iluminancia más elevados si la luminancia visible también es mayor.
Mantener al mínimo la iluminación en tierra y en el mar (p. ej., barcos pesqueros, parques eólicos marinos, plataformas petrolíferas o de gas).	En el mar, las aves terrestres migratorias suelen hacer aterrizajes de emergencia en buques, por lo que las luces de cubierta, los reflectores de navegación y los focos deberán mantenerse al mínimo.
Usar sensores de movimiento para encender las luces solo cuando sea necesario.	Los ledes no tienen limitaciones de calentamiento ni de enfriamiento, por lo que pueden mantenerse apagados hasta que sea necesario y ofrecer luz instantánea cuando se requiera.
Evitar las luces de alta intensidad de cualquier color.	Mantener la intensidad de la luz lo más baja posible minimizará el impacto sobre las aves terrestres migratorias durante el vuelo y en los lugares de parada.
Adaptar los espectros. Como se recomienda en las Mejores prácticas en el diseño de la iluminación . Usar luces sin longitudes de onda azules, violetas y ultravioletas cuando sea posible.	Limitar la luz azul y evitar la luz UV. Varios estudios científicos han llegado a conclusiones diversas en cuanto a cómo afectan las distintas luces de color a las aves, por lo que es importante consultar la bibliografía revisada por pares más reciente relativa a esta cuestión para poder tener en cuenta cualquier nuevo avance.

Medidas de gestión	Información detallada
Usar luces parpadeantes/intermitentes en lugar de luz continua si se necesita iluminación para señalar obstáculos.	En parques eólicos marinos o plataformas petrolíferas o de gas, torres de comunicación y otras estructuras pueden emplearse luces parpadeantes para reducir la atracción/las colisiones.
Si se necesita luz continua, usar luz roja.	La luz roja parece atraer a menos aves.
Orientar las luces hacia abajo.	Orientar la luz solo hacia la superficie que requiera iluminación. Usar protección para evitar enviar luz difusa hacia la atmósfera y fuera del espacio de la zona que se desee iluminar.
Evitar la iluminación interior que llega al entorno exterior.	Usar pantallas fijas para las ventanas o tintar las ventanas fijas y las claraboyas para contener la luz dentro de los edificios. Donde sea posible, usar estores opacos, persianas, cortinas, iluminación específica localizada, cristal con valores reducidos de transmitancia de la luz visible/ «cristal inteligente».
Aplicar medidas cuando vaya a haber presencia de aves. Esto incluye períodos punta de migración (corredores aéreos).	La mayor parte de la migración tiene lugar dentro de períodos de tiempo fijos y en función de las condiciones locales. Dentro de estos períodos de tiempo, la migración de las aves suele llegar a su máximo una serie de noches. La previsión de la migración puede basarse en sistemas designados, tales como radares, en otra información como las previsiones meteorológicas o en conjuntos de datos a largo plazo, incluida la ciencia ciudadana. Deberán tenerse en cuenta, por tanto, las temporadas migratorias al planificar iluminación temporal, como, p. ej., en festivales.
Usar toques de queda para gestionar la iluminación durante las temporadas migratorias, p. ej., apagar las luces del atardecer al amanecer.	Apagar todas las luces exteriores que sea posible y bloquear la luz difusa de las fuentes de luz internas durante los toques de queda.
No usar focos, reflectores ni iluminación de azoteas.	Las luces ascendentes pueden afectar al comportamiento de vuelo de las aves migratorias, por lo que se desaconseja su uso.
Apagar la iluminación de las fachadas durante las temporadas	Las luces ascendentes pueden afectar al comportamiento de vuelo de las aves migratorias,

Medidas de gestión	Información detallada
migratorias (especialmente los focos ascendentes y la iluminación de azoteas).	por lo que se desaconseja su uso en todo momento, pero en especial cuando las aves están migrando. Si se emplean luces ascendentes por algún motivo, deberán desconectarse cuando las aves se reúnan a su alrededor, de forma que puedan dispersarse y continuar su migración. La iluminación de fachadas descendente puede contribuir al resplandor del cielo y a la contaminación lumínica generales, por lo que deberán evitarse.
Definir los principales corredores aéreos y lugares de parada como zonas sin luz artificial por la noche con el objetivo de retener o recuperar la luminancia del cielo nocturno y llevar la iluminación ambiental a niveles naturales.	Dicha información puede basarse en conjuntos de datos a largo plazo, incluida la ciencia ciudadana, y en una información de seguimiento de rápido crecimiento. Parte de la información de seguimiento es de libre acceso y se encuentra en repositorios como Movebank.org
Animar a propietarios y ocupantes de edificios a apagar todas las luces visibles en el exterior durante las temporadas migratorias por medio de programas como «Lights Out».	Para más información, ver: https://birdcast.info/science-to-action/lights-out/ https://www.audubon.org/lights-out-program Publicitar los resultados positivos para fomentar una mayor respuesta ante dichos programas.
Efectuar un seguimiento de la eficacia de los programas como «Lights Out», analizando entre otras cosas las reducciones en el consumo de energía, el coste, las emisiones de luz, las colisiones de aves y la mortalidad de aves.	Puede captarse a científicos ciudadanos, p. ej., para efectuar un seguimiento de las víctimas y pedirles que proporcionen información logística, p. ej., relativa a los costes (ver Loss et al., 2023).
Tener en cuenta las previsiones de la migración de aves, cuando estén disponibles, para la gestión de la luz artificial por la noche en corredores aéreos.	https://birdcast.info prevé la migración en EE. UU. y https://globam.science prevé la migración en Europa y Norteamérica.
Elaborar previsiones de migración en todo el mundo.	Deberán identificarse zonas clave allí donde las previsiones de la migración puedan ayudar a planificar medidas contra la contaminación lumínica (ver Van Doren y Horton, 2018).

Medidas de gestión	Información detallada
Tener en cuenta las diferencias entre las migraciones primaverales y otoñales.	En algunos lugares, las aves podrían estar más expuestas a la contaminación lumínica durante una de sus migraciones.
Poner en práctica medidas específicas según la meteorología.	En lugares donde se registre un mayor número de colisiones de aves contra edificios durante días nublados/cubiertos, deberán emitirse alertas que soliciten que las luces se apaguen cuando se prevea mal tiempo.
Integrar mapas de áreas peligrosas para las aves terrestres migratorias en el proceso de planificación.	Las áreas peligrosas son aquellas en las que es probable que cantidades elevadas de aves entren en contacto con luz artificial por la noche.
Los edificios con elevados niveles de mortalidad de aves deberán aplicar medidas de mitigación adecuadas basadas en métodos de mitigación específicos para edificios con asesoramiento experto.	Las medidas de mitigación podrían variar de estructura a estructura.
Minimizar el reflejo de la vegetación y las instalaciones acuáticas en las fachadas de los edificios.	Las aves perciben como reales los reflejos de la vegetación, el paisaje o el cielo. Minimizando el reflejo en las fachadas de los edificios, puede reducirse el riesgo de colisión para aquellas aves que se hayan visto atraídas a través de la contaminación lumínica hacia áreas en las que la colisión de aves contra edificios sea un riesgo. Consultar directrices para la construcción existentes para conocer cómo reducir los riesgos de colisión, por ejemplo, las Best Practices Glass de Toronto.
Realizar estudios periódicos para hacer seguimiento de las colisiones de aves terrestres durante períodos intensos de migración.	Esto es necesario para evaluar si los programas como «Lights Out» están teniendo éxito y para poner en relieve qué edificios/lugares necesitan medidas de mitigación.
Instruir a monitores en métodos de cuidado de aves heridas antes de trasladarlas a un rehabilitador de fauna salvaje.	Por ejemplo: https://flap.org/finding-an-injured-bird/
Usar otros materiales para evitar la necesidad de iluminación.	En el caso de señales, bordillos, senderos y escalones, pueden utilizarse caminos que brillan en la oscuridad, pintura y cinta reflectante y/o

Medidas de gestión	Información detallada
	materiales autoluminosos en lugar de instalar iluminación.

Cuadro 17 Cuando se hayan agotado todas las demás opciones de mitigación y exista la necesidad de luz artificial para la seguridad humana, este cuadro ofrece las luminarias comerciales recomendadas para su uso cerca de hábitats de aves terrestres migratorias y cuáles evitar.

Tipo de luz	Idoneidad para su uso cerca de hábitats de aves terrestres migratorias
Vapor de sodio de baja presión	✓
Vapor de sodio de alta presión	✓
Led filtrado*	✓
Haluro metálico filtrado*	✓
Led blanco filtrado*	✓
LED con propiedades espectrales apropiadas para las especies presentes	✓
Led blanco	✗
Haluro metálico	✗
Fluorescente blanco	✗
Halógeno	✗
Vapor de mercurio	✗

* «Filtrado» significa que este tipo de luminaria *solo* puede utilizarse si se le aplica un filtro para eliminar la luz con una longitud de onda problemática.

Apéndice J – Murciélagos

Puesto que son nocturnos, los murciélagos son especialmente susceptibles a los impactos de la contaminación lumínica y algunos de sus comportamientos, tales como la búsqueda de alimento, el desplazamiento, la bebida, el descanso y la migración, pueden verse alterados. Siempre que sea posible, deberá mantenerse la oscuridad natural en aquellas zonas en las que haya presencia de murciélagos. Debido a la gran diversidad entre especies, si hay presente o va a introducirse luz artificial, las medidas de mitigación deberán ser específicas del sitio y de la especie.

Dado que muchas especies de murciélagos son insectívoras, deberá tenerse en cuenta cómo se verán afectados por la luz artificial los insectos que puedan ser sus presas y cómo afectará esto a su vez a los murciélagos.

Los murciélagos son un grupo muy diverso de mamíferos voladores de la orden Chiroptera, con más de 1400 especies divididas en 21 familias. A lo largo de las últimas décadas, se han descrito muchas especies nuevas; desde 2005, se ha descrito más de 270 especies nuevas (Frick et al., 2020). Ver Cuadro 18.

Cuadro 18: Familias de Chiroptera (Burgin et al., 2020 y Simmonds y Cirranello, 2023)

Familia		Número de especies
Cistugidae	Cistugo seabrae	2
Craseonycteridae	Murciélagos nariz de Kitti	1
Emballonuridae	Murciélagos de sacos alares	55
Furipteridae	Murciélagos ahumados	2
Hipposideridae	Murciélagos de nariz de hoja del Viejo Mundo	90
Megadermatidae	Falsos vampiros	6
Miniopteridae	Murciélagos ratoneros patudos	37
Molossidae	Murciélagos cola suelta	132
Mormoopidae	Murciélagos cara de fantasma	18
Mystacinidae	Murciélagos de cola corta	2
Myzopodidae	Murciélagos con pies ventosa	2
Natalidad	Murciélagos oreja de embudo	11
Noctilionidae	Murciélagos pescadores	2
Nycteridae	Murciélagos de cara hendida	15

Phyllostomidae	Murciélagos de nariz de hoja del Nuevo Mundo	227
Pteropodidae	Murciélagos frugívoros del Viejo Mundo	199
Rhinolophidae	Murciélagos de herradura	110
Rhinonycteridae	Murciélagos tridente	9
Rhinopomatidae	Murciélagos cola de ratón	6
Thyropteridae	Murciélagos con discos	5
Vespertilionidae	Murciélagos vespertinos	523

Chiroptera es el segundo grupo de mamíferos con más especies y, aun así, sigue habiendo retos clave a la hora de entender su taxonomía, que hasta cierto punto está en cambio constante, y los papeles ecológicos desempeñados por los murciélagos (Kruskop, 2021). Los murciélagos muestran una gran variedad de estilos de vida: por ejemplo, en su alimentación, ya que muchos de ellos se alimentan de insectos y otros, de fruta y néctar. Su gran variedad de comportamientos y hábitats hace difícil ofrecer unas directrices que reduzcan los efectos de la luz artificial por la noche para todas las especies. De ahí la recomendación general de que deberían elaborarse directrices específicas a nivel local en función de las especies y los hábitats en cuestión.



Figura 31 Murciélago grande de herradura (*Rhinolophus ferrumequinum*). Foto: Paulo Barros.

Estado de conservación

Según la [Lista Roja de la UICN](#), 219 especies de Chiroptera están amenazadas (ya sea en peligro crítico, en peligro o vulnerables). Noventa y cuatro especies están casi amenazadas, 773 son de menor preocupación y de 237 se dispone de datos insuficientes. Muchas de las especies que se han descrito en los últimos años aún no han sido clasificadas por la UICN (Frick et al., 2020).

Los murciélagos están protegidos en virtud de diversos tratados y acuerdos internacionales, tales como la [Directiva Hábitats de la Unión Europea](#), la Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres (CMS, Bonn 1979) y el [Acuerdo sobre la Conservación de las Poblaciones de Murciélagos en Europa \(EUROBATS\)](#), que se creó al amparo de la CMS in 1994. En la 8ª sesión de la Reunión de las Partes de EUROBATS en 2018, se adoptó la [Resolución 8.6 Murciélagos y contaminación lumínica](#).

Las siguientes especies de Chiroptera aparecen en el Apéndice I de la [Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres](#) (CITES, Washington 1973): *Acerodon jubatus*, *Pteropus insularis*, *Pteropus loochoensis*, *Pteropus mariannus*, *Pteropus molossinus*, *Pteropus pelewensis*, *Pteropus pilosus*, *Pteropus samoensis*, *Pteropus tonganus*, *Pteropus ualanus*, *Pteropus yapensis*. *Acerodon* spp. (a excepción de las especies incluidas en el Apéndice I) y *Pteropus* spp. (a excepción de las especies incluidas en el Apéndice I) y *Pteropus brunneus*, que no está incluida en los Apéndices) están en el Apéndice II. *Platyrrhinus lineatus* (Uruguay) está en el Apéndice III.

En 2015, se firmó una [Letter of Intent Related to Efforts to Promote Conservation of Bats](#) en los Estados Unidos Mexicanos, los Estados Unidos de América y Canadá.

Distribución y hábitat

Los murciélagos pueden encontrarse en todos los continentes a excepción de la Antártida y son especialmente abundantes en los trópicos y en algunos ecosistemas templados (Voigt y Kingston, 2016). Las mayores concentraciones de especies se encuentran en la América tropical, el África tropical y el Sudeste Asiático (la región de Indochina, Sumatra, Borneo) (Procheş, 2005). El Sudeste Asiático es un punto caliente a nivel mundial, con al menos 388 especies (Yoh et al., 2022). Europa y Norteamérica poseen menos de 50 especies cada una (Ulrich et al., 2007).

Hábitats importantes para murciélagos

Los murciélagos requieren un hábitat adecuado para descansar, desplazarse, buscar alimento y bebida y otros comportamientos esenciales. La elección del hábitat es específica de cada especie y algunos murciélagos recorren distancias mayores que otros para encontrar su hábitat de preferencia (Bat Conservation Trust, 2023a). Las especies de murciélagos insectívoros, por ejemplo, podrían tener preferencia por la búsqueda de alimento en vías navegables, en bosques o en pastizales y tierras de cultivo. Las zonas de búsqueda de alimento circundantes y cercanas de refugios maternos son hábitats importantes para los murciélagos, sobre todo porque las demandas energéticas de las hembras preñadas y lactantes son elevadas (Kyheröinen et al., 2019). Las zonas de desplazamiento que unen las zonas de búsqueda de alimento y los refugios maternos también son importantes. Las rutas de desplazamiento pueden seguir particularidades naturales del paisaje, tales como ríos, setos y senderos arbolados (Bat Conservation Trust, 2023b).

En lo relativo a los hábitats de las especies de pteropódidos, muchas dependen de plantaciones y jardines, mientras que solo el 11 % depende únicamente de vegetación primaria, y 15 especies

usan paisajes urbanos para la búsqueda de alimento (Aziz et al., 2021). Esto quiere decir que la mayor parte usan hábitats que podrían hacerles entrar en conflicto con los humanos.

Efectos de la luz artificial sobre los murciélagos

Como mamíferos mayormente nocturnos, los murciélagos son especialmente susceptibles a alteraciones provocadas por la luz artificial por la noche. Los comportamientos de descanso, salida del refugio, desplazamiento, búsqueda de alimento y de bebida, *swarming*, migración y apareamiento podrían verse alterados (ver el [Glosario](#) para definiciones de refugio, ruta de desplazamiento y *swarming*). A continuación, se ofrecen más ejemplos, y los murciélagos están considerados bajo dos epígrafes amplios que los divide en especies que se alimentan principalmente de insectos o de fruta/néctar (incluidos los murciélagos pteropódidos y los filostómidos).

Los insectos que cazan insectos y pequeños peces por arrastre también se ven afectados por la luz artificial por la noche (Haddock, 2018). Los murciélagos que se alimentan de sangre (subfamilia Desmodontinae) no se tienen en cuenta aquí debido a la falta de información sobre cómo se ven afectados por la luz artificial por la noche. Cualquier investigación futura debería fijarse en estos grupos.

Este no pretende ser un examen exhaustivo, sino que busca poner de relieve lo que se conoce de algunas de las inquietudes y, por tanto, la justificación para abordar la contaminación lumínica para las especies de murciélagos. Debería tenerse en cuenta que la mayoría de la información disponible sobre los efectos de la luz artificial sobre los murciélagos proviene de áreas templadas, donde la gran mayoría de las especies pertenecen a la familia Vespertilionidae, todas insectívoras, y se ha efectuado muy poco o nada de trabajo en zonas tropicales. Se sigue trabajando en ello, pero aún se tardarán años en tener una visión clara de los patrones generales. Así pues, debería adoptarse un enfoque precautorio hasta que se sepa más.

Efectos de la luz artificial sobre los murciélagos insectívoros

Muchos murciélagos dependen de invertebrados para alimentarse. Para entender los comportamientos de los murciélagos insectívoros cerca de las luces artificiales es importante entender cómo se ve atraída su presa, el insecto, por las luces (Voigt et al., 2018a).

Mecanismos mediante los cuales la luz afecta a los insectos

Eisenbeis (2006) analizó las distintas maneras en que el comportamiento de los insectos se ve afectado por las luces artificiales, tales como el efecto de «fijación» o «cautividad», el efecto «quitamiedos» y el efecto «aspirador». El efecto de «fijación» o «cautividad» se produce cuando el insecto vuela directamente hacia la luz y muere de inmediato, orbita la luz hasta ser atrapado por un depredador o hasta que muere de agotamiento, o consigue alejarse de la luz durante un tiempo, pero se vuelve inactivo debido al agotamiento o a que se ha visto deslumbrado por la luz estando, por tanto, a un riesgo elevado de depredación. El efecto «guardabarros» se produce cuando las farolas evitan que los insectos sigan su ruta migratoria o de búsqueda de alimento original, causando así que se queden atrapados por el efecto de «cautividad». El efecto «aspiradora» se produce cuando las luces atraen a insectos que no están buscando alimento ni migrando, lo que causa su muerte y, potencialmente, una reducción de la población local. Además de la atracción, las luces pueden tener otros efectos sobre los insectos nocturnos, tal como la insensibilización de

sus sistemas visuales, una pérdida de capacidad para reconocer objetos en su entorno y una desorientación temporal o espacial (Owens y Lewis, 2018). En el caso de insectos como las cachipollas, que normalmente aovan en el agua guiándose por cómo polariza la luz la superficie del agua para poner sus huevos, la luz artificial puede hacer que se vean atraídos hacia superficies asfaltadas y aoven en carreteras y puentes iluminados de manera artificial (Szaz et al., 2015).

La fuerza de atracción también depende del tipo de lámpara usada y de las longitudes de onda que emite. La composición espectral podría ser más importante que la intensidad de la luz para los insectos (Longcore et al., 2015), ya que las luces UV emitidas atraen a más insectos (Barghini y Souza de Medeiros, 2012). No obstante, Bolliger et al. (2020) concluyeron que la intensidad también podría ser relevante y que cuanto más luz emitían las farolas led en Suiza, más insectos acababan en trampas para insectos. Los heterópteros eran especialmente sensibles a los niveles lumínicos y la atenuación de la luz parecía beneficiarles. Se recomienda precaución al emplear el número de insectos que se ven atraídos hacia una luz para evaluar el impacto ecológico de una fuente de luz concreta, puesto que algunos tipos de luz podrían suprimir la actividad de vuelo y atraer, por tanto, a menos insectos (Boyes et al., 2021). La distancia desde la que los insectos pueden verse atraídos hacia la luz varía en función de la iluminación ambiental y la altura de la luz artificial (Eisenbeis, 2006). Durante la luna llena, por ejemplo, las luces artificiales atraen a un número menor de insectos.

Podría haber diferencias entre órdenes de insectos en lo relativo a qué tipo de luz les atrae (Desouhant et al., 2019). Los coleópteros se sentían más atraídos por una luz de sodio de alta presión (HPS) que, por un led, mientras que los dípteros se acercaron más a los ledes (Wakefield et al., 2018). Las distintas familias de lepidópteros responden de manera diferente a la luz. Por ejemplo, la iluminación con una longitud de onda corta atrajo a más noctuidos que la iluminación de onda más larga (Somers-Yeates et al., 2013). Los geométridos se vieron atraídos por ambas longitudes de onda. Ciertas especies de polillas podrían sentir más atracción hacia la luz UV que otras; aquellas atraídas hacia lámparas que emiten luz UV mueren por agotamiento o depredación, mientras que otras se ven menos afectadas (Straka et al., 2021).

Existe la preocupación de que la luz artificial por la noche, junto con otros factores, incluidos la pérdida de hábitats, el uso de pesticidas, las especies invasivas y el cambio climático, están contribuyendo al rápido declive de los insectos en todo el mundo (Owens et al., 2020). Este descenso en la población de insectos tiene numerosas implicaciones, tales como, por supuesto, para los depredadores de insectos, como los murciélagos (Voigt et al., 2018a).

Algunas medidas recomendadas para reducir la luz molesta, la luz difusa y el resplandor del cielo, como la protección de las luces, no son suficientes para evitar que afecte a los insectos en la zona inmediata de una luz (Owens et al., 2020). La conservación de los insectos requiere la limitación de la iluminación a las zonas necesarias, usando la intensidad más reducida que sea segura y reduciendo el número de accesorios instalados, especialmente cerca de zonas ecológicamente vulnerables. Los enfoques estacionales también podrían ser adecuados en algunos casos. Es necesaria una investigación más exhaustiva para averiguar cómo afectan a los insectos la polarización y el ritmo de parpadeo.

Efectos de la luz artificial sobre la actividad de búsqueda de alimento de los murciélagos

La presencia de insectos con luz podría atraer a algunas especies de murciélagos que estén buscando alimento, en especial especies que cazan insectos al vuelo que lo hagan en espacios abiertos (p.ej., géneros *Eptesicus*, *Nyctalus* y *Pipistrellus*) (Stone et al., 2015; Lacoeuilhe et al., 2014). Se ha demostrado que las especies de *Eptesicus* de Suecia se han beneficiado del aumento de las presas disponibles en farolas brillantes (Rydell, 1992). Sin embargo, un aumento a corto

plazo en la disponibilidad de insectos en las fuentes de luz podría causar que las poblaciones de insectos desciendan a largo plazo y que se reduzca, por tanto, la disponibilidad de alimento para los murciélagos. Los murciélagos que buscan alimento cerca de luces artificiales podrían estar en un mayor riesgo de depredación.

Especies con una mayor aversión a la luz, como los *Myotis*, *Plecotus* o *Rhinolophus*, podrían evitar buscar alimento cerca de farolas brillantes y atenuadas y perderían, por tanto, lugares de búsqueda de alimento cuando se instala luz artificial (Stone et al., 2015; Luo et al., 2021). En Missouri, EE. UU., los murciélagos colorados (*Lasiurus borealis*) buscan alimento activamente alrededor de luces, especialmente justo después del atardecer, mientras que otras especies, incluidos los murciélagos morenos (*Eptesicus fuscus*) y los murciélagos grises (*Myotis grisescens*), evitan las zonas iluminadas (Cravens y Boyles, 2019).

Estas diferencias en la búsqueda de alimento cerca de luces artificiales han llevado a una división de las especies de murciélagos en especies sensibles a la luz y aquellas que toleran y explotan la luz. Sin embargo, Voigt et al. (2018a; 2021) previnieron contra el uso de dichas etiquetas, puesto que la reacción de una especie a la luz puede variar en función de varios factores según la situación concreta. Ellos categorizaron las respuestas probables de los distintos géneros de murciélagos europeos en diversas situaciones como una respuesta adversa, una respuesta neutra o una respuesta oportunista (ver Voigt et al., 2018a). Un examen reciente determinó que la manera en que la luz artificial por la noche afecta a los murciélagos depende del contexto, incluida la actividad que está llevando a cabo el murciélago, así como del tipo o tipos de alimento de la especie (Voigt et al., 2021). Si bien el tipo o tipos de alimento puede ser una buena generalización, puede haber variaciones entre especies, por lo que debería procurarse no generalizar excesivamente. Deberán tomarse precauciones, dado que la luz podría no afectar al comportamiento de los murciélagos, pero sí a su fisiología, lo que puede ser difícil de controlar o medir. Todas las especies europeas reaccionan de manera sensible a la luz artificial por la noche cerca de sus refugios y a la iluminación de los lugares de bebida (Russo et al. 2017), probablemente a causa del gran riesgo de depredación. En zonas de desplazamiento o búsqueda de alimento, los efectos son más variados.

La luz artificial por la noche puede causar un cambio en la composición de la comunidad y podría desfavorecer a algunas especies (Russo et al., 2019; Seewagen y Adams, 2021). La introducción de iluminación led en hábitats de búsqueda de alimento provocó a una disminución de la presencia y actividad de pequeños murciélagos café (*Myotis lucifugus*) y una reducción de la actividad de los murciélagos morenos y los murciélagos canosos (*Lasionycteris noctivagans*) en Connecticut, EE. UU., mientras que los murciélagos colorados y los murciélagos cenicientos (*Lasiurus cinereus*) no se vieron afectados por las luces (Seewagen y Adams, 2021). Un estudio en Italia determinó que la luz artificial por la noche influyó en la diferenciación de nicho entre los murciélagos comunes (*Pipistrellus pipistrellus*) y los murciélagos de borde claro (*Pipistrellus kuhlii*), ambos buscadores de alimento en farolas (Salinas-Ramos et al., 2021). Los murciélagos de borde claro usaron zonas iluminadas de manera artificial con mayor frecuencia que los murciélagos comunes. La riqueza de especies de Perú se vio reducida por la intensidad de la luz artificial, aunque ocho especies fueron observadas usando áreas urbanas con niveles elevados de luz artificial por la noche (Mena et al., 2021).

Para algunas especies, la luz artificial por la noche en los límites de los bosques aumenta la probabilidad de que los murciélagos se introduzcan en el bosque (Barré et al., 2021). Esto sugiere que los murciélagos usan estructuras del paisaje cuando reaccionan a la luz, por ejemplo, para evitar la depredación. Un estudio en Sídney, Australia, concluyó que la actividad de los murciélagos fue mayor en los interiores de los bosques en comparación con los límites de los bosques y que las especies de vuelo más lento, que están adaptadas a entornos abarrotados o con una frecuencia

de llamada de ecolocalización elevada característica, se vieron afectadas negativamente por la luz artificial por la noche en el límite del bosque (Haddock et al., 2019a). La actividad de este grupo (que incluía a *Nyctophilus* spp., *Rhinolophus megaphyllus*, *Vespardelus vulturinus*, *Chalinolobus morio* y *Miniopterus australis*) disminuyó al cambiar las luces UV de vapor de mercurio por ledes con UV baja (Haddock et al., 2019b). El cambio a farolas led blancas podría, así pues, provocar un descenso de la abundancia de algunas especies de murciélagos insectívoros o cambios en la composición de la comunidad, aunque esto podría depender de una exposición previa a la luz artificial por la noche. Los murciélagos que son relativamente ingenuos respecto a la luz artificial por la noche son más propensos a mostrar una reacción frente a la misma que los murciélagos en entornos con fuentes prolongadas de luz artificial por la noche (Seewagen y Adams, 2021). En Singapur, por ejemplo, donde hay niveles extremadamente elevados de contaminación lumínica (Falchi et al., 2016), el cambio de farolas HPS por farolas led blancas no influyó en la actividad de los murciélagos (Lee et al., 2021). Las especies que están menos adaptadas a las áreas urbanas o a áreas con niveles considerables de luz artificial por la noche podrían mostrar cambios en su comportamiento.

La actividad de los murciélagos se vio afectada por una lámpara led blanca con un flujo luminoso de 6480 lm (4000-4500 K) que iluminaba una sección transversal de un río en los Apeninos centrales italianos (Russo et al., 2019). No obstante, las reacciones dependieron de la especie. La actividad de los murciélagos ribereños (*Myotis daubentonii*) se redujo en condiciones de iluminación y más tarde por la noche, mientras que la actividad de los murciélagos de borde claro aumentó considerablemente con luz. Otras especies o grupos de especies no presentaron efectos significativos. La reducción de la actividad de los murciélagos ribereños no se debió a un cambio en la disponibilidad de alimento, puesto que las cantidades de Chironomidae y Ceratopogonidae aumentaron en condiciones de iluminación, principalmente en mayor cercanía de la lámpara led, aunque la comunidad de insectos sobre el agua no mostró ningún cambio cualitativo ni cuantitativo. Así pues, los murciélagos parecían evitar la iluminación artificial.

Efectos de la luz artificial sobre los refugios de los murciélagos

Las luces artificiales cercanas a los refugios (los lugares usados por los murciélagos para descansar y socializar durante el día y, ocasionalmente, durante la noche) pueden afectar negativamente a los murciélagos alterando su actividad de salida y disminuyendo así las oportunidades de búsqueda de alimento debido a la reducción del tiempo disponible para ello y a un menor acceso a los niveles máximos de presencia de insectos durante el anochecer (Stone et al., 2015; Voigt et al., 2018a). Rydell et al. (2017) concluyeron que las colonias de murciélagos de las iglesias requieren que un ala o extremo de la iglesia permanezca sin iluminar, preferiblemente la parte más cercana a las copas de los árboles circundantes, para que los murciélagos puedan salir y regresar al refugio con seguridad. La luz artificial en un sitio de descanso puede provocar una mayor depredación, especialmente si los murciélagos se ven obligados a usar una salida alternativa y mejorable (Stone et al., 2015). En algunas circunstancias, la luz puede hacer que una colonia abandone su refugio. Por ejemplo, una colonia completa (1000-1200 hembras) de murciélagos de Geoffroy (*Myotis emarginatus*) abandonó un refugio en una iglesia en Hungría cuando se instalaron focos (Boldogh et al., 2007). Las colonias de murciélagos orejados dorados (*Plecotus auritus*) ya no descansaban en varias iglesias rurales de Suecia en las que se habían instalado focos (Rydell et al., 2017).

La presencia de ledes de color blanco neutro (amplio espectro de ~420-700 nm con picos en torno a 450 y 540-620 nm), rojo (espectro entre 620 y 640 nm con un pico en torno a 630 nm) o ámbar (espectro entre 580 y 610 nm con un pico en torno a 597 nm) en la entrada de una cueva redujo la actividad de cuatro especies de murciélagos: el murciélago de cueva (*Miniopterus schreibersii*), el

murciélago ratonero patudo (*Myotis capaccinii*), el murciélago mediterráneo de herradura (*Rhinolophus euryale*) y el murciélago mediano de herradura (*R. mehelyi*), si bien el led rojo presentó los efectos menos negativos (Straka et al., 2020). La especie *Rhinolophus* mostró la mayor reacción. Straka et al. (2020) investigaron los efectos a corto plazo de la luz sobre los murciélagos que habitan en cuevas, pero señalaron la posibilidad de efectos acumulativos y a largo plazo que podrían afectar negativamente a colonias completas.

Efectos de la luz artificial sobre el comportamiento relativo al desplazamiento

Cuando la luz artificial altera las rutas de desplazamiento, los murciélagos podrían verse obligados a usar rutas peores que requieran un mayor tiempo de vuelo y gasto energético para llegar a sus zonas de búsqueda de alimento (Stone et al., 2015). También podrían estar expuestos a un mayor riesgo de depredación o al viento y la lluvia. Si no hay disponible una ruta alternativa, una colonia podría tener que abandonar su refugio. La pérdida de colonias de murciélagos orejados dorados en Suecia podría estar vinculada también a la iluminación artificial de sus corredores aéreos (Rydell et al., 2021).

La iluminancia vertical ha resultado ser un mejor predictor de la actividad de los murciélagos que la iluminancia horizontal, por lo que deberá tenerse en cuenta la orientación de la luz a la hora de evaluar los efectos de la luz artificial por la noche sobre los murciélagos (Azam et al., 2018).

Algunas especies son más propensas a evitar la luz. Por ejemplo, los murciélagos hortelanos (*Eptesicus serotinus*) evitaron las luces a mayores distancias que otras especies (Azam et al., 2018). En el caso de estas especies, es muy probable que la luz forme una barrera y la colocación de las farolas puede afectar a los movimientos de los murciélagos cuando están buscando alimento, por ejemplo. Se ha demostrado que la actividad de los murciélagos en Sídney, Australia, es más elevada en el interior de los bosques en comparación con los límites de los bosques, haya o no luz artificial en el límite del bosque (Haddock et al., 2019a). Esto destaca la importancia de mantener las conexiones o los corredores entre áreas forestales, sobre todo en bosques que se encuentren dentro o cerca de áreas urbanas.

Los murciélagos ribereños podrían verse más afectados por la luz artificial cuando buscan alimento que cuando se desplazan. Un estudio de Spoelstra et al. (2018) determinó que los murciélagos ribereños que se desplazaron atravesando alcantarillas no se vieron afectados por la luz led artificial de distintos colores (rojo, blanco, verde) con una intensidad lumínica de $5,0 \pm 0,2$ lx a nivel del agua. La falta de respuesta podría haberse debido al montaje experimental, los bajos niveles de luz empleados o la ubicación de las alcantarillas, que pasaban por debajo de una carretera, por lo que el ruido del tráfico podría haber disuadido más a los murciélagos y haberlos animado a seguir usando las alcantarillas a pesar de la incorporación de los ledes. Las reacciones de los murciélagos a la luz artificial podrían ser específicas de cada lugar, lo que destaca la importancia de llevar a cabo evaluaciones del impacto medioambiental en detalle.

Impacto de la longitud de onda y la intensidad de la luz sobre los murciélagos

Los murciélagos se ven afectados por luces de distintos colores e intensidades (Voigt et al., 2021), aunque dichos efectos dependerán de la especie. Durante la migración, los murciélagos enanos (*Pipistrellus pygmaeus*) y los murciélagos de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*) mostraron una mayor actividad en presencia de un led rojo (con una longitud de onda dominante de 623 nm), aunque esto no estaba relacionado con una mayor ingestión de alimento, lo que sugiere que la relación de los murciélagos con la luz roja se debía a la fototaxia (Voigt et al., 2018b). Spoelstra et al. (2017), no obstante, concluyeron que las especies *Pipistrellus*, *Plecotus* y *Myotis* eran igualmente

abundantes en zonas iluminadas en rojo en comparación con aquellas con control de la oscuridad, lo que sugiere que no se produjo una respuesta fototáctica cuando los murciélagos no están migrando. Barré et al. (2021) determinaron que es más probable que la especie *Pipistrellus* se introduzca en una zona forestal cuando se encuentra cerca de luces rojas o blancas (en comparación con zonas con control de la oscuridad) y que dicha probabilidad aumentaba en el caso de las luces rojas, puesto que los murciélagos se acercaban más a la luz.

Durante la migración, los *Pipistrellus* no mostraron un aumento de la actividad general con una fuente de luz led blanca cálida (longitud de onda dominante 581 nm), pero sí una mayor búsqueda de alimento en comparación con el control de la oscuridad (Voigt et al., 2018b). Spoelstra et al. (2017) concluyeron que las especies *Pipistrellus* eran más abundantes en torno a luces blancas y verdes, mientras que las especies *Myotis* y *Plecotus* las evitaban. Barré et al. (2021) también determinaron que para las *Myotis* y *Plecotus*, las luces blancas tenían un efecto más considerable que las luces rojas, lo que les incitaba a volar hacia zonas forestales cercanas a las luces. En el caso de las *Eptesicus* y *Nyctalus*, era más probable que los murciélagos se introdujeran en un bosque cercano a luz blanca, aunque al acercarse a las luces, la probabilidad de introducirse en el bosque crecía tanto para luces rojas como blancas. Los resultados opuestos de los estudios sobre los espectros de la luz podrían deberse a los efectos dependientes de las condiciones de la luz artificial por la noche sobre los murciélagos, por ejemplo, antes y durante el período migratorio, cuando la visión desempeña un papel más dominante que la ecolocalización (Voigt et al., 2018b).

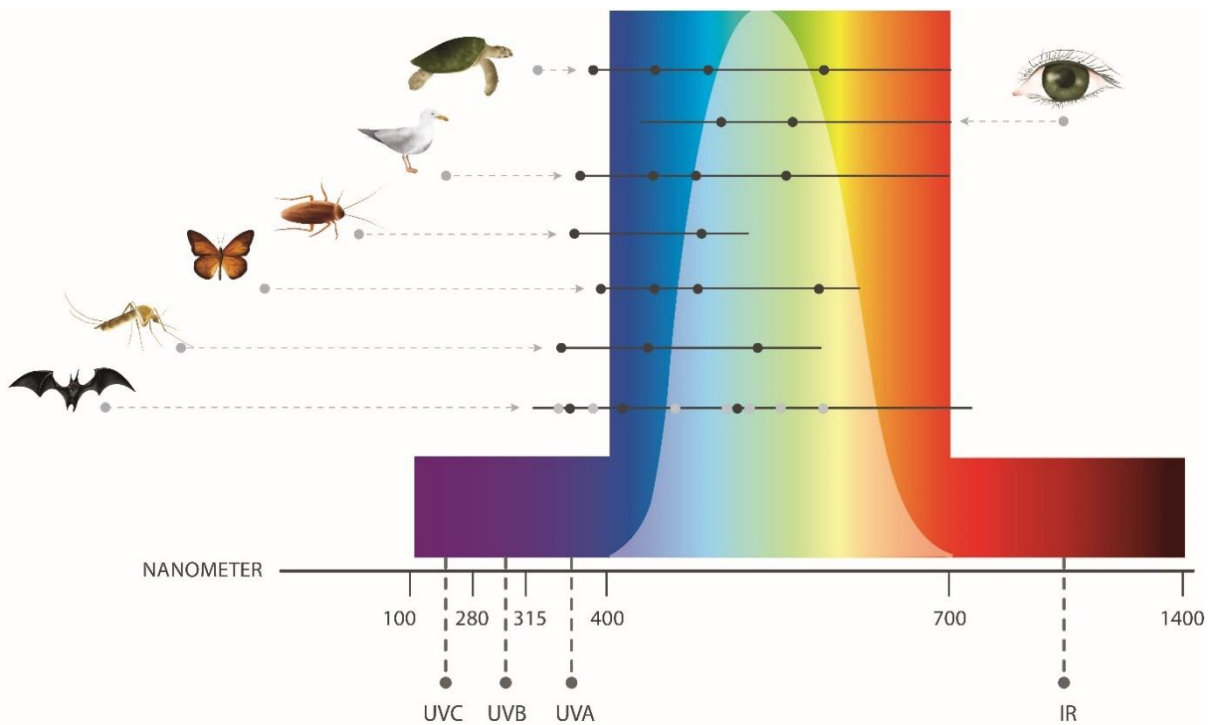


Figura 32 Percepción comparativa de la luz entre distintos grupos de especies

Nota: Las líneas horizontales muestran una amplia generalización de la capacidad de los humanos y la vida silvestre para percibir distintas longitudes de onda. Los puntos representan las sensibilidades máximas comunicadas. Los puntos negros de los murciélagos representan los picos de sensibilidad de un murciélago omnívoro según Winter et al. (2003); los puntos grises representan los picos de sensibilidad potenciales de los murciélagos, derivados de Feller et al. (2009) y Simões et al. (2018). Figura adaptada de Campos (2017).

Un estudio que utilizó luces UV tenues e intermitentes (>400 nm) para alejar a los murciélagos de una turbina eólica determinó que, en realidad, las respuestas de los murciélagos eran más indicativas de atracción que de disuasión (Cryan et al., 2022). Puesto que no se produjo un aumento considerable en la actividad de los insectos, parecía ser la superficie iluminada de la turbina eólica más que la presencia de insectos lo que atraía a los murciélagos. Straka et al. (2019)

concluyeron que las distintas especies responden de manera diferente a la emisión de longitudes de onda de la UV. El murciélago común y el murciélago de Nathusius mostraron un incremento de la actividad al aumentar el número de farolas que emitían luz UV, mientras que el murciélago enano y los murciélagos de un grupo que incluye a las especies *Nyctalus* y *Eptesicus* y al murciélago bicolor (*Vespertilio murinus*) (que no pudo distinguirse por sus llamadas de ecolocalización) respondieron de manera negativa a las farolas de vapor de mercurio y haluro metálico que emitían luz UV.

La intensidad de la luz es tan importante como el espectro. La luz artificial por la noche que sea más brillante que la luz de la luna puede alterar la búsqueda de alimento y el apareamiento de los murciélagos, así como interferir con el arrastre del sistema circadiano (Voigt et al., 2018a). El aumento de la iluminancia provocó un descenso de la actividad de los murciélagos y de la proporción de zumbidos con lámparas led blancas, mientras que con lámparas de vapor de sodio de baja presión se observó el efecto opuesto (Kerbiriou et al., 2020). Esto podría haberse debido a un mayor riesgo de depredación asociado a una luz led más potente que se parezca más a la luz diurna que la luz producida por lámparas de vapor de sodio de baja presión. Las distintas especies son sensibles a diferentes intensidades lumínicas y algunas especies evitan los entornos iluminados independientemente de la intensidad o el espectro de la luz (Kerbiriou et al., 2020). Los valores de iluminancia inferiores a 1 lx tuvieron un efecto negativo sobre las especies *Myotis* sensibles a la luz, mientras que los murciélagos comunes y los nóctulos pequeños (*Nyctalus leisleri*) fueron más activos entre 1 lx y 5 lx. (Azam et al., 2018).

Incluso los períodos relativamente breves de iluminación artificial pueden tener un efecto negativo sobre los murciélagos, por lo que reducir el período de tiempo en que las zonas están iluminadas es un mecanismo para reducir los efectos de la luz artificial por la noche, así como reducir la intensidad de la luz. Boldogh et al. (2007) afirmaron que en el caso del murciélago grande de herradura (*Rhinolophus ferrumequinum*), el murciélago de Geoffroy y el murciélago ratonero mediano (*Myotis oxygnathus*), incluso un período de una hora de iluminación tras el anochecer puede causar una alteración considerable en su comportamiento y crecimiento. El murciélago de Geoffroy fue especialmente sensible a la luz y no abandonó el refugio hasta que la oscuridad fue completa. Azam et al. (2018) también concluyeron que el efecto negativo de la luz artificial por la noche sobre la especie *Myotis* continuó incluso después de que se hubieran apagado las farolas.

Efectos de la luz artificial sobre los murciélagos que se alimentan de frutas y néctar

Se sabe poco sobre cómo afecta la luz artificial por la noche a los murciélagos que se alimentan de frutas tropicales y néctar (Rowse et al., 2016), aunque tienden a evitar zonas que estén bien iluminadas (Hoyos-Díaz et al., 2018). La luz artificial por la noche podría evitar su desplazamiento y la dispersión de semillas, lo que provocaría el aislamiento genético de las plantas iluminadas y otros importantes efectos en los ecosistemas (Lewanzik y Voigt, 2014). En zonas donde la deforestación y la contaminación lumínica estén aumentando, el funcionamiento de los ecosistemas podría verse gravemente afectado. Los murciélagos frugívoros del Viejo Mundo son importantes polinizadores y dispersores de semillas y algunas especies migran de manera estacional para seguir los recursos alimenticios (Aziz et al., 2021). El murciélago frugívoro de color pajizo (*Eidolon helvum*), por ejemplo, desempeña un importante papel en la dispersión de semillas a larga distancia en África Subsahariana (Aziz et al., 2021), una de las regiones del mundo con los niveles más bajos de contaminación lumínica (Falchi et al., 2016). Con las crecientes tasas de urbanización de algunos países de África Subsahariana (ONU, 2019), existe la posibilidad de que una mayor contaminación lumínica altere las actividades de los murciélagos frugívoros, causando un efecto dominó en los ecosistemas.

Se capturaron seis veces menos murciélagos frugívoros gigantes (*Artibeus lituratus*) y murciélagos frugívoros de Jamaica (*A. jamaicensis*) en una parcela de bosque de crecimiento secundario en Venezuela al instalar lámparas HPS (Hoyos-Díaz et al., 2018). También se comprobó que la contaminación lumínica afecta a la intensidad con la que los murciélagos frugívoros gigantes y de Jamaica visitaban los árboles *Ceiba pentandra* en Yucatán, México (Dzul-Cauich y Munguía-Rosas, 2022). Como polinizadores, la disminución de las visitas de murciélagos podría haber afectado al éxito reproductivo de los árboles, pero en la práctica no fue así y la luz artificial (nivel medio $5,06 \pm 0,86$ lx, con un nivel máximo de 18,20 lx en este estudio) tuvo un efecto directo y positivo en el éxito reproductivo del *C. pentandra*.

El momento en que los zorros voladores de la India (*Pteropus giganteus*) salen de sus refugios en los árboles guarda una alta correlación con la puesta de sol y la duración de los días (Kumar et al., 2018). Todos los individuos de un refugio salen en un espacio inferior a una hora, de la misma manera que los murciélagos de la fruta de nariz corta (*Cynopterus sphinx*) (Murugavel et al., 2021). En el caso de los murciélagos pteropódidos que descansan en cuevas oscuras (p. ej., el roseto de Leschenault, *Rousettus leschenaultii*), los tiempos de salida son más amplios y el momento de máxima afluencia varía en función de la fase de la luna. Su actividad de vuelo queda restringida a niveles de luz más bajos que las especies que se refugian en los árboles. Las distintas especies responderán, por tanto, de manera diferente a la contaminación lumínica. Los focos se han empleado de manera satisfactoria como herramienta de gestión para disuadir a los zorros voladores de refugiarse en ciertos árboles en Queensland, Australia (Estado de Queensland, 2020). Así pues, en zonas donde los zorros voladores están protegidos por la legislación estatal, es necesario retirar los focos. Se requiere una investigación más exhaustiva sobre cómo responden los pteropódidos a la luz artificial por la noche.

La cubierta vegetal es importante para los murciélagos que se alimentan de plantas, por lo que aumentar la presencia de vegetación podría ser un importante método de mitigación para evitar cualquier efecto negativo de la contaminación lumínica (Dzul-Cauich y Munguía-Rosas, 2022).

Evaluación del impacto medioambiental de la luz artificial sobre los murciélagos

Como mínimo, las infraestructuras con una iluminación artificial que sea visible desde el exterior deberían implementar las [Mejores prácticas en el diseño de la iluminación](#) para reducir la contaminación lumínica y minimizar los efectos sobre los murciélagos. En aquellas zonas donde se sepa que es probable o seguro que haya presencia de especies de murciélagos, deberá llevarse a cabo una EIA. Las siguientes secciones repasan el [proceso de una EIA](#) con una consideración específica hacia los murciélagos. En la Unión Europea, la iluminación que se encuentre en los sitios Natura 2000 deberá ser objeto de una evaluación específica según la Directiva en materia de hábitats y especies (Directiva 92/43/CEE del Consejo).

Los murciélagos son vulnerables a los efectos de la luz artificial durante el descanso, el desplazamiento, la búsqueda de alimento, la bebida, el regreso al refugio, el *swarming* y la migración. Deberá tenerse en cuenta la ubicación de las fuentes de luz (tanto directas como el resplandor del cielo) en hábitats y elementos importantes como refugios, cuevas, hibernáculos, lugares de *swarming*, rutas de vuelo asociadas, hábitats de desplazamiento, zonas de búsqueda de alimento y fuentes de agua.

Orientación relacionada

- [Guidelines for consideration of bats in lighting projects](#) de EUROBATS (Voigt et al., 2018a), especialmente la sección relativa a la realización de evaluaciones del impacto medioambiental
- Collins, J. (ed.) (2016) [Bat Surveys for Professional Ecologists: Good Practice Guidelines \(3ª edición\)](#). Bat Conservation Trust, Londres
- [Guidelines for Surveillance and Monitoring of European Bats](#) de EUROBATS (Battersby (comp.), 2017)
- La base de datos mundial de [DarkCideS](#) de cuevas y especies de murciélagos contiene información relativa a la ubicación geográfica, el estado ecológico y las características de las especies (Tanalgo et al., 2021)
- [Plan de la acción de la UE para la conservación de todas las especies de murciélagos en la Unión Europea \(2018-2024\)](#)

Personal cualificado

El diseño/gestión de la iluminación artificial y el proceso de la EIA deberían llevarse a cabo por parte de personal cualificado adecuado. Los planes de gestión de iluminación deberían desarrollarse y revisarse por parte de profesionales de iluminación cualificados que consulten con biólogos y/o ecologistas debidamente cualificados.

Fase 1: Describir la iluminación del proyecto

La información recopilada durante esta fase deberá incluir el examen de los [Efectos de la luz artificial sobre los murciélagos](#).

Describir el entorno lumínico existente y caracterizar la luz artificial que puede emitirse en el lugar. La información deberá incluir (pero no limitarse a): la ubicación y el tamaño del espacio que abarca el proyecto; el número y tipo de luces artificiales (su altura, orientación y horas de funcionamiento); la topografía del lugar y la proximidad al hábitat de murciélagos. Esta información deberá incluir si la luz artificial será visible directamente para los murciélagos y contribuirá al resplandor del cielo; la distancia desde la cual puede ser perceptible esta luz artificial; protección o controles de la luz artificial para minimizar los impactos; y las características espectrales (longitud de onda) y la intensidad de las luces artificiales.

Fase 2: Describir la población y el comportamiento de los murciélagos

Seguir la orientación para llevar a cabo evaluaciones del impacto medioambiental del documento [Guidelines for consideration of bats in lighting projects](#) de EUROBATS (Voigt et al., 2018a).

Esto deberá incluir un estudio de los murciélagos para averiguar qué especies se dan en cada zona y dónde se encuentran sus sitios de descanso, zonas de alimentación y rutas de desplazamiento. Deberán utilizarse las directrices de buenas prácticas existentes para los estudios sobre murciélagos. Por ejemplo, Collins (2016) y Battersby (2017).

Deberán describirse las especies, el comportamiento y la dieta de los murciélagos que descansan y buscan alimento en el área de interés. Esto deberá incluir el estado de conservación de las especies; las tendencias de población (cuando se conozcan); cómo de extenso/localizado es el refugio para dicha población; la abundancia de murciélagos que usan la ubicación; la importancia

regional de la población; la estacionalidad del descanso y la reproducción; y los requisitos para la búsqueda de alimento y la distancia recorrida para buscar alimento desde el refugio.

Cuando no haya suficientes datos para comprender la importancia de la población o la demografía, o cuando sea necesario documentar el comportamiento efectivo de los murciélagos, puede que sea necesario realizar estudios sobre el terreno y hacer un seguimiento biológico. Si bien los sitios de descanso de las colonias de murciélagos pueden ser conocidos, las rutas de desplazamiento no suelen serlo tanto (Voigt et al., 2018a).

Seguimiento biológico de los murciélagos

Todo estudio relacionado con un proyecto deberá ser elaborado, supervisado y los resultados interpretados por un personal debidamente cualificado y experimentado para asegurar la fiabilidad de los datos.

Los objetivos del seguimiento de los murciélagos en un área que pueda verse afectada por la luz artificial son:

- comprender el tamaño y la importancia de la(s) población(es) de murciélagos;
- comprender cualquier interacción entre especies (allí donde haya múltiples especies de murciélagos en un mismo lugar);
- identificar refugios, rutas de desplazamiento y zonas de búsqueda de alimento y de bebida donde puedan producirse cambios en la iluminación artificial; y
- describir el comportamiento de los murciélagos en los sitios de descanso, zonas de búsqueda de alimento y rutas de desplazamiento antes y después de la introducción/mejora de la luz artificial.

Los datos se utilizarán para documentar la EIA y evaluar si las medidas de mitigación tienen el potencial de ser satisfactorias.

Para entender el comportamiento de los murciélagos existentes, será necesario llevar a cabo un seguimiento (o un enfoque similar) para determinar la capacidad de los murciélagos para buscar alimento, desplazarse, descansar y orientarse antes de las mejoras de construcción/iluminación. Deberá considerarse realizar seguimiento de un lugar de control/referencia comparativa para asegurarse de que los cambios observados en el comportamiento de los murciélagos están vinculados a cambios en el entorno lumínico y no a cambios de mayor alcance en materia climática o de paisaje.

La luz artificial puede fragmentar y degradar los hábitats de murciélagos. El seguimiento biológico deberá incluir un estudio adecuado de la población para determinar si hay poblaciones importantes para los murciélagos.

Un programa de seguimiento del comportamiento bien diseñado capturará lo siguiente tanto antes como después de la ejecución del diseño de iluminación artificial:

- El comportamiento de los murciélagos en los sitios de descanso, incluida la ubicación del refugio usado, el tipo de refugio usado, el tiempo de la primera aparición, el tiempo de regreso al refugio, la duración del descanso y el letargo.
- La actividad de búsqueda de alimento de los murciélagos, incluida la ubicación y el tipo de los lugares de búsqueda de alimento, el tiempo pasado buscando alimento y la disponibilidad de la presa.

- Las rutas de desplazamiento usadas por los murciélagos, incluida la ubicación de las rutas de desplazamiento y el tiempo y la duración del comportamiento relativo al desplazamiento.

Los estudios deberán diseñarse en consulta con un ecologista cuantitativo/bioestadista para garantizar que los datos recopilados posibilitan un análisis y una interpretación significativos de los hallazgos.

Al mismo tiempo que los datos biológicos, deberán recopilarse también, como mínimo, los datos cualitativos descriptivos sobre los tipos, la ubicación y la directividad de la luz visible. Los datos cuantitativos sobre el resplandor existente del cielo deberán recopilarse, si es posible, de manera biológicamente significativa, reconociendo las dificultades técnicas para obtener estos datos. Véase [Medición de la luz biológicamente relevante](#) para su examen.

Fase 3: Evaluación de riesgos

El objetivo es gestionar la iluminación de manera que los comportamientos normales de los murciélagos no se vean perturbados. Deberían poder llevar a cabo comportamientos fundamentales, como la búsqueda de alimento, el desplazamiento y el descanso. Tampoco se les debería desplazar fuera de los hábitats importantes. Estos objetivos deberán tenerse en cuenta en el proceso de evaluación de riesgos.

Al considerar los posibles efectos de la luz en los murciélagos, en la evaluación se deberá tener en cuenta el entorno de luz existente, el diseño de iluminación propuesto y su mitigación/gestión, así como el comportamiento in situ de los murciélagos. Se deberá tener en cuenta asimismo en qué modo perciben la luz los murciélagos. En esta evaluación se deberá incluir también la información y perspectivas tanto de la longitud de onda como de la intensidad de la luz. Para saber en qué modo o si es probable que los murciélagos vean la luz artificial, se deberá realizar una visita a la zona por la noche y ver el área desde cualquier refugio conocido y otro hábitat clave. De la misma manera, se deberá examinar en qué modo los murciélagos verán la luz cuando estén volando. Esto podría hacerse usando tecnología tal como drones.

Fase 4: Plan de gestión de la luz

En el plan deberá incluirse toda la información pertinente del proyecto (Fase 1), así como la información biológica (Fase 2). En el proceso de planificación deberán integrarse mapas de zonas importantes para murciélagos y/o zonas de conflicto potenciales. El plan de gestión de la luz deberá describir la mitigación propuesta. Puede obtenerse una variedad de medidas de mitigación específicas para los murciélagos consultando [Conjunto de opciones de mitigación para los murciélagos](#) a continuación. En el plan se deberá describir también el tipo y el cronograma de seguimiento biológico y de la luz para asegurar que la mitigación cumpla con los objetivos del plan y los mecanismos para revisar la fase de evaluación de riesgos de la EIA. En el plan se deberán describir las opciones en caso de imprevistos para una mitigación o compensación adicional si el estudio biológico y de la luz o las auditorías de cumplimiento indican que la mitigación no está cumpliendo los objetivos establecidos (p. ej., la luz artificial es visible desde refugios de murciélagos o las poblaciones de los refugios disminuyen).

Fase 5: Seguimiento biológico y auditoría de la luz

El éxito de la mitigación del impacto y la gestión de la luz deberán confirmarse mediante el seguimiento y la auditoría de cumplimiento, y los resultados deberán utilizarse para facilitar un enfoque de gestión adaptativa, a fin de asegurar la mejora continua y contribuir a puntos de referencia de información de conocimiento científico.

El seguimiento biológico pertinente se describe en la Fase 2 anterior. Se deberá emprender un estudio simultáneo de la luz e interpretarlo en el contexto de cómo perciben la luz los murciélagos y sus presas y dentro de las limitaciones de las técnicas de estudio descritas en [Medición de la luz biológicamente relevante](#). Se deberá realizar una auditoría, conforme se describe en el plan de gestión de la luz, para garantizar que la iluminación artificial del lugar sea coherente con el plan de gestión de la luz y los objetivos de conservación pertinentes.

Fase 6: Examen

La EIA deberá incorporar un proceso de revisión para la mejora continua que permita unas mitigaciones mejoradas, cambios en los procedimientos y una renovación del plan de gestión de la luz basado en el seguimiento biológico de los impactos de la luz artificial en los murciélagos.

Conjunto de opciones de mitigación para los murciélagos

El diseño y los controles apropiados de la iluminación, así como la mitigación de los efectos de la luz artificial, serán específicos del sitio/proyecto y de la especie. Cuando no se disponga de datos relativos a cómo afecta la luz artificial a una especie/comportamiento/hábitat de murciélagos, deberá seguirse el principio precautorio y reducirse la contaminación lumínica. También deberá tenerse en cuenta cómo afecta la iluminación a los insectos, dado que esto es relevante para muchas especies de murciélagos.

En todos los proyectos deberán incorporarse las Mejores prácticas en el diseño de la iluminación. En el cuadro 19 se ofrecen un conjunto de opciones de gestión pertinentes para los murciélagos. Estos deberán aplicarse junto con los seis principios de [Mejores prácticas en el diseño de la iluminación](#). No todas las opciones de mitigación serán pertinentes para todas las situaciones. En el cuadro 20 se proporciona una lista propuesta de tipos de luz apropiados para su uso cerca de hábitats importantes para murciélagos y tipos que se deberán evitar.

Algunas de las medidas de gestión más eficaces para mitigar el impacto de las luces artificiales en los murciélagos son:

- mantener la oscuridad natural para todos los hábitats de murciélagos
- mantener los corredores de los refugios a las zonas de búsqueda de alimento oscuros y sin iluminar
- eliminar o redirigir la luz artificial dirigida a refugios o en su entorno inmediato
- eliminar, redirigir o proteger luces artificiales en zonas de búsqueda de alimento conocidas manteniendo la intensidad al mínimo practicable, teniendo en cuenta que se ha demostrado que la luz incidental por debajo de 1 lx puede ser molesta para algunas especies de murciélagos (Azam et al., 2018)

Otras medidas de mitigación que podrían ser menos efectivas, pero podrían tenerse en cuenta, son:

- implementar planes de iluminación nocturnos parciales
- modificación de luminarias para reducir el espectro, longitudes de onda más largas (como la luz roja) (Spoelstra et al., 2017; Haddock, 2018)

- instalar iluminación por detección de movimiento, teniendo en cuenta que esta podría causar una respuesta de sobresalto y que será necesaria una evaluación de su eficacia como instrumento de mitigación

Cuadro 19: Medidas de gestión de la luz para murciélagos

Medidas de gestión	Información detallada
Evitar la luz artificial en zonas previamente no iluminadas.	Es crucial mantener la oscuridad en las zonas al controlar los efectos sobre especies nocturnas como murciélagos.
Aplicar una mitigación adecuada donde y cuando pueda haber presencia de murciélagos.	Los refugios, las rutas de desplazamiento, las zonas de búsqueda de alimento y las fuentes de agua son las zonas usadas por murciélagos que tienen más probabilidades de verse afectadas por la luz artificial. Cualquier luz artificial directa o indirecta que sea visible para una persona que se encuentre en hábitats de búsqueda de alimento, corredores de desplazamiento o hábitats de descanso podría ser visible para un murciélago y deberá modificarse para evitar que sea vista.
Apagar las luces todo el tiempo que sea posible durante la noche.	Las luces exteriores o interiores que emitan luz difusa hacia el exterior deberán apagarse todo el tiempo que sea posible durante la noche para evitar los efectos negativos sobre murciélagos.
Mantener la iluminación exterior al mínimo.	Iluminar solo cuando sea necesario y minimizar la intensidad. Mantenerse por debajo de los niveles lumínicos permitidos por la ley (teniendo en cuenta que estos niveles lumínicos a menudo no son legales, sino «estándares» de sociedades profesionales, como los desarrollados por la IES y la CIE además de las prescripciones legales). Tener en cuenta que, para los humanos, la buena visibilidad depende de evitar unos contrastes demasiado elevados entre la luminancia visible máx. y mín. Si se reduce la luminancia visible, p. ej., mediante una protección o un diseño óptico adecuado, unos niveles de iluminancia reducidos generales pueden lograr una mejor visibilidad que unos niveles de iluminancia más elevados si la luminancia visible también es mayor.
Usar sensores de movimiento para encender las luces solo cuando sea necesario.	Esto implicará que las áreas permanecerán oscuras durante períodos más prolongados. Los ledes no tienen limitaciones de calentamiento ni de enfriamiento, por lo que pueden mantenerse apagados hasta que sea necesario y ofrecer luz instantánea cuando se requiera. Sin embargo, tener en cuenta si esto

Medidas de gestión	Información detallada
	activará una respuesta de sobresalto por parte de los murciélagos.
Evitar las luces de alta intensidad de cualquier color.	Mantener la intensidad de la luz lo más baja posible reducirá el efecto sobre los murciélagos.
Usar luces con longitudes de onda azules reducidas o filtradas.	Los murciélagos y sus presas son especialmente sensibles a la luz de longitud de onda corta. La luz azul afecta al ritmo circadiano de los vertebrados y puede causar un cambio en los patrones de sueño/actividad.
Evitar longitudes de onda violetas y ultravioletas.	Si bien los efectos circadianos son más bajos con longitudes de onda violetas que con azules, la atracción de los insectos puede ser superior, lo que puede tener implicaciones para murciélagos insectívoros.
Usar ledes con una composición espectral más cálida (<<2700 K).	Aunque no exista una correlación estricta entre el contenido de azul y la temperatura de color correlacionada, la mayoría de fuentes de luz blancas con una temperatura de color correlacionada baja, es decir, temperaturas de color templadas, también tienen un contenido de azul bajo. Es importante revisar la cantidad de luz de longitud de onda corta presente en cada tipo de luz usando una curva de potencia espectral para gestionar la luz de longitud de onda corta.
Reducir la visibilidad de las fuentes de luz minimizando la radiancia, usando protección y reduciendo la altura de las luminarias.	Incluso fuentes de luz distantes podrían atraer a la vida silvestre debido a su elevada luminancia y visibilidad a gran distancia, por lo que deberán tomarse medidas para minimizar la radiancia.
No iluminar hábitats y elementos importantes tales como refugios, entradas/salidas de refugios, cuevas, hibernáculos, lugares de <i>swarming</i> , rutas de vuelo asociadas, hábitats de desplazamiento, zonas de búsqueda de alimento (incluidos parques urbanos, jardines, límites de bosques, setos) y lugares de bebida.	Estos hábitats importantes deberán mantenerse oscuros evitando la irradiancia en estos lugares. No deberán iluminarse con ningún espectro (ni siquiera luz roja), puesto que cualquier luz puede tener efectos negativos.
No iluminar fachadas de edificios que se encuentren cercanas a hábitats importantes para los murciélagos, como refugios, cuevas, hibernáculos, lugares de <i>swarming</i> , rutas de vuelo asociadas, hábitats de desplazamiento, zonas de búsqueda de alimento y fuentes de agua.	Las fachadas de los edificios no deberán iluminarse a fin de reducir la contaminación lumínica en general, pero esto es especialmente importante en zonas cercanas a hábitats de murciélagos o en el interior de los mismos. Los edificios que se sepa que albergan refugios no deberán iluminarse durante toda la temporada de reproducción.

Medidas de gestión	Información detallada
Mantener los niveles naturales de luz/oscuridad (medidos con luna nueva) en entradas y salidas de refugios y corredores de emergencia.	Los murciélagos son especialmente sensibles en estos lugares debido al riesgo de depredación, por lo que deberán mantenerse los niveles naturales de luz/oscuridad.
No iluminar corredores aéreos entre las entradas/salidas de los refugios y setos, líneas de árboles y otras rutas de desplazamiento.	La luz puede alterar las rutas de desplazamiento, lo que causaría un mayor tiempo de vuelo y un mayor gasto de energía. Allí donde sea factible deberán mantenerse los niveles naturales de luz/oscuridad (luna nueva).
Evitar la iluminación en zonas de búsqueda de alimento tales como cuerpos de agua (ríos, estanques, canales) y bosques, así como en lugares de bebida, incluidos pequeños estanques y bebederos para ganado.	Los murciélagos pueden verse disuadidos de los lugares de búsqueda de alimento y de bebida si están iluminados, por lo que estas zonas deberán mantener sus niveles naturales de luz/oscuridad (medidas con luna nueva).
Desalentar las visitas a cuevas con presencia de murciélagos, especialmente aquellas con colonias de cría/maternidad o murciélagos en hibernación, de forma que no exista el riesgo de que se introduzca luz artificial, p. ej., de linternas/antorchas, o iluminación más permanente.	Los murciélagos solo utilizan algunas zonas de manera estacional, cosa que la gestión de la luz deberá tener en cuenta.
Minimizar la iluminación y su duración en cuevas. Usar luces únicamente cuando sea necesario y limitarlas a zonas alejadas de murciélagos.	Preferiblemente no iluminar las cuevas en las que haya presencia de murciélagos. Si fuera necesario, iluminar solo formaciones concretas de la cueva en lugar de la cueva entera. Apagar las luces cuando no sean necesarias.
Procurar separar las luces, incluidas las farolas, de los hábitats importantes para murciélagos con una distancia adecuada y usar protección y otras medidas para reducir la luz difusa cuando proceda.	La distancia por sí sola podría no ser suficiente. Se requiere una buena calidad óptica de las luminarias para evitar la luz difusa en lugares alejados de la calle. Deberán aplicarse protección y otras medidas para reducir la luz difusa.
Evitar dirigir la luz hacia vegetación/plantas.	Los murciélagos insectívoros podrían buscar alimento cerca de vegetación y los murciélagos que se alimentan de néctar/fruta se alimentan directamente de las plantas, por lo que deberá evitarse la luz en la vegetación.
Si fuera necesario instalar luces dentro de edificios con refugios, usar fuentes de luz de baja intensidad y desviadas de los murciélagos. Usar la luz solo de manera temporal y cuando sea necesario.	La luz debería iluminar únicamente las rutas directas de los humanos cuando sea necesario para garantizar su seguridad y debería desconectarse cuando no sea necesaria. Pueden usarse temporizadores automáticos. Las luces deben apagarse automáticamente cuando oscurezca para que no se queden encendidas accidentalmente durante la noche.

Medidas de gestión	Información detallada
<p>Instalar luces a alturas reducidas para que solo se iluminen las zonas deseadas, por ejemplo, en subterráneos o usando bolardos para iluminar senderos.</p>	<p>Las luces instaladas a alturas reducidas ayudarán a reducir la luz difusa y la iluminación innecesaria de las zonas oscuras.</p>
<p>Usar otros materiales como caminos que brillan en la oscuridad o de luces de colores.</p>	<p>En algunas circunstancias la iluminación podría no ser necesaria para la orientación humana si se usan materiales alternativos para señalar rutas o para marcar objetos críticos, p. ej., bordillos o senderos.</p>
<p>Crear zonas de delimitación entre los hábitats clave para los murciélagos y las zonas que haya que iluminar.</p>	<p>El hábitat clave deberá mantenerse sin luz artificial, la zona cercana al hábitat clave deberá contar con una iluminancia estrictamente limitada, la zona cercana a esta deberá estar moderadamente iluminada mediante el uso de barreras de luz o protección y, en el área de actuación principal, donde la luz se considera más necesaria, los niveles de iluminancia deberán mantenerse lo más bajos posible. Consultar Bat Conservation Trust e ILP (2018) para ver un diagrama útil que ilustra este punto.</p>
<p>Usar edificios, muros, vallas y arquitectura paisajista no reflectantes y de superficies oscuras para bloquear la luz difusa cuando proceda. La vegetación también puede usarse como zona de delimitación.</p>	<p>Aunque es preferible evitar la luz difusa instalando luminarias de alta calidad, si esto no fuera suficiente, la luz difusa residual puede reducirse aún más bloqueándola con muros, vallas, arquitectura paisajista o una protección adicional. Allí donde la vegetación se utilice como delimitación, garantizar que no está iluminada de manera directa.</p>
<p>Usar la orientación de la luz para mitigar los efectos negativos.</p>	<p>La luz nunca deberá dirigirse hacia los hábitats, las zonas de bebida u otras zonas críticas en las que haya presencia de murciélagos. Adaptar la orientación de las luminarias puede ayudar a minimizar la luz difusa hacia zonas críticas/clave.</p>
<p>Tener en cuenta la ubicación de senderos, espacios abiertos y número/tamaño de ventanas en las nuevas construcciones para minimizar la luz difusa hacia hábitats clave.</p>	<p>La iluminación de las zonas y senderos que la necesiten deberá dirigirse lejos de los hábitats para reducir impactos.</p>
<p>Instalar farolas atenuables en zonas donde las carreteras atraviesen hábitats importantes para murciélagos. Atenuar las luces a los niveles más bajos permitidos.</p>	<p>Las farolas pueden atenuarse en función del momento del día para reducir los niveles de luz en momentos críticos para los murciélagos (p. ej., 2 horas después de la puesta de sol), pero también pueden atenuarse en función del tráfico, de manera que solo se enciendan si se detecta tráfico. Las farolas led no presentan ningún retraso al elevar los niveles de luz en cuestión de segundos.</p>

Medidas de gestión	Información detallada
Iluminar las zonas únicamente en los momentos en que la luz sea necesaria. Idealmente, empezar la fase de oscuridad de un plan de iluminación dentro de las dos primeras horas tras la puesta de sol para reducir los impactos.	Las dos primeras horas tras la puesta de sol son críticas para la perturbación de los murciélagos con luz artificial porque suelen solaparse con los momentos en que los murciélagos salen de sus refugios y son más activos. La cronología de los planes de iluminación deberá tener esto en cuenta y garantizar oscuridad o unos niveles de luz extremadamente bajos durante este momento.
Usar sensores de movimiento y temporizadores para reducir los períodos de iluminación a cuando sea necesaria.	El umbral de activación deberá ser alto (para que los objetos grandes como los humanos activen los sensores) y la duración de la activación deberá ser breve (no más de unos minutos). Tener en cuenta que estos dispositivos requieren cierto grado de atención y mantenimiento.
Controlar la iluminación cuando haya presencia de murciélagos y tener en cuenta las actividades estacionales de los murciélagos, incluidas la migración, el apareamiento y la cría, para tomar decisiones adecuadas en materia de iluminación.	Por ejemplo, en edificios usados por murciélagos únicamente durante un período breve de tiempo durante el año, la iluminación exterior hacia estos edificios deberá evitarse por completo durante el período en el que haya presencia de murciélagos.

Cuadro 20 Tipos de luminarias comerciales que suele considerarse que poseen un impacto menor para su uso cerca de hábitats de murciélagos, y cuáles evitar

Tipo de luz	Idoneidad para su uso cerca de hábitats de murciélagos
Vapor de sodio de baja presión	✓
Vapor de sodio de alta presión	✗
Led filtrado *	✓
Haluro metálico filtrado *	✓
Led blanco filtrado *	✓
Led ámbar de banda estrecha	✓
PC ámbar	✓
Led blanco	✗
Haluro metálico	✗
Fluorescente blanco	✗
Halógeno	✗

* «Filtrado» significa que los ledes **solo** pueden utilizarse si se les aplica un filtro aprobado por el fabricante para eliminar la luz de longitud de onda corta (< 500 nm)

Glosario

ACAP: es el *Acuerdo para la Conservación de Albatros y Petreles*.

ALAN (Artificial Light At Night): es la “luz artificial por la noche” y se refiere a la luz artificial exterior que es visible por la noche.

Altura de montaje: es la altura del accesorio o bombilla sobre el suelo.

Área biológicamente importante (ABI): es un área espacialmente definida donde se sabe que las agregaciones de individuos de una especie muestran comportamientos biológicamente importantes, tales como la reproducción, la alimentación, el descanso o la migración.

Aterrizaje: se refiere a situaciones en las que las aves no logran tomar su primer vuelo desde el nido o colisionan con una estructura (adultos y juveniles) y no pueden volver a despegar el vuelo.

Biológicamente relevante: es un enfoque, interpretación o resultado en el que se considera sea la especie a la que se refiere, sea determinados factores en las consideraciones biológicas de su enfoque.

El **resplandor** es la fuerza de la sensación a simple vista cuando se ven superficies iluminadas.

Bombilla incandescente: es una bombilla que proporciona luz mediante un filamento calentado a una temperatura elevada por la corriente eléctrica. Su venta está prohibida en la mayoría de países debido a su baja eficiencia energética.

Bombilla: es originalmente la fuente de luz eléctrica tradicional y es un componente de una luminaria. Las bombillas también están disponibles como retrofits de led con la misma geometría que las bombillas tradicionales para acondicionar luminarias antiguas. Las fuentes de luz de las luminarias led modernas no son bombillas, sino que los ledes se montan en tableros electrónicos

Caída: se refiere a aves que colisionan con estructuras cuando están desorientadas.

CAMBA (China-Australia Migratory Bird Agreement): es el *Acuerdo China-Australia de Aves Migratorias*.

Candela (cd) (término fotométrico): es una unidad fotométrica de iluminación básico que mide la cantidad de luz emitida en el rango de un tramo angular (tridimensional). que corresponde al flujo luminoso por ángulo sólido en lm/sr. No debe confundirse con la unidad de luminancia, que se mide en candelas por metro cuadrado (cd/m^2) e incluye la superficie de la fuente de luz. La luminancia se mide típicamente en candelas por metro cuadrado (cd/m^2).

Candela (footcandle) (fc o ftc) (término fotométrico) es una unidad de intensidad de luz utilizada en Estados Unidos. Se basa en el resplandor de una candela a una distancia de un pie. Se mide en lúmenes por pie cuadrado (un pie cúbico equivale aproximadamente a 10,7639 lux. Ésta no es una medida apropiada para comprender cómo perciben los animales la luz. No debería emplearse en documentos internacionales, puesto que no cumple con el sistema internacional de unidades SI.

Cenit: es un punto imaginario situado directamente sobre un lugar, en la esfera celeste imaginaria.

CIE: es la Comisión Internationale de l'Eclairage (Comisión Internacional de la Iluminación), que establece la mayor parte de las normas internacionales relativas a la iluminación. Los estándares de iluminación internacionales más relevantes se publican en primer lugar en la CIE y a continuación como un estándar conjunto de la CIE y la ISO.

CMS: es la *Convención sobre la Conservación de Especies Migratorias de Animales Silvestres* o la Convención de Bonn.

Contaminación lumínica: hace referencia a la **luz artificial** que altera los patrones naturales de la luz y la oscuridad en los ecosistemas.

Controles de iluminación: son dispositivos que se utilizan para encender y apagar las luces o para atenuarlas.

Controles inteligentes: son dispositivos para variar la intensidad o la duración del funcionamiento de la iluminación, tales como sensores de movimiento, temporizadores y atenuadores que se utilizan conjuntamente con el equipo de iluminación exterior.

Curva de potencia espectral: proporciona una representación de la presencia relativa de cada longitud de onda emitida por una fuente de luz. Puede visualizarse en un gráfico como una curva de intensidad respecto a longitud de onda o en una tabla.

Derrame de luz: es la luz que cae fuera de los límites del objeto o área que se desea iluminar. La luz derramada no tiene ninguna finalidad y, si se dirige por encima del plano horizontal, contribuye directamente al **resplandor artificial del cielo**. Se le llama también luz derramada, luz molesta o intrusión de la luz.

Desorientación: se refiere a cualquier especie que se mueve de manera confusa, p. ej., una cría de tortuga que se mueve en círculo y no logra encontrar el océano.

Deslumbramiento hace referencia a una condición de visibilidad reducida o incapacitada a causa de una luminancia elevada o de contrastes de luminancia extremos. Dado que el deslumbramiento está relacionado con la perturbación de una tarea visual en los humanos, cuando la luminaria está adecuadamente montada para su aplicación, las luminarias «de reducido resplandor» podrían exhibir, no obstante, una luminancia visible muy elevada en función del ángulo de visión bajo el que aparezca la fuente de luz.

Dispositivo de carga acoplada (Charge Coupled Device, **CCD** por sus siglas en inglés): es la tecnología de sensores utilizada en las cámaras digitales. Convierte la luz capturada en datos digitales (imágenes) que pueden elaborarse para producir datos cuantificables.

Dispositivo de luz (luminaria): es la unidad de iluminación completa. Incluye la bombilla, el reflector (espejo) o refractor (lente), el balasto, la carcasa y las piezas adjuntas.

Dispositivo de luz exterior: significa una instalación de luz (luminaria) que se aplica fuera o en el exterior de un edificio o estructura, ya sea de forma temporal o permanente.

EIA (Evaluación del impacto ambiental): es un proceso de “evaluación del impacto ambiental”.

Especies incluidas en las listas: son las especies que figuran en la **Ley EPBC** o en la legislación de conservación/medio ambiente estatal o territorial pertinente. Las especies pueden figurar en tales listas como amenazadas, migratorias o parte de una comunidad ecológica amenazada incluida en la lista.

Falsa orientación: ocurre cuando una especie se mueve en dirección errónea, p. ej., cuando la cría de una tortuga se mueve hacia una luz y se aleja del océano.

Flujo luminoso: es la luz total emitida por una bombilla en todas las direcciones, que se mide en **lumen**.

Flujo/potencia radiante (término radiométrico): se expresa en vatios (W). Es la potencia óptica total de una fuente de luz. Es la energía radiante emitida, reflejada, transmitida o recibida, por unidad de tiempo. A veces se denomina potencia radiante y se puede definir también como la tasa de flujo de energía radiante.

FMP (Field Management Program): se refiere al Programa de Gestión de Campo.

Fotocélulas: son sensores que encienden y apagan las luces en respuesta a los niveles de luz natural. Alguna modalidad avanzada puede atenuar o aumentar la iluminación lentamente (véase también **controles inteligentes**).

Fotometría: es un subconjunto de la radiometría que representa la medida de la luz ponderada según la sensibilidad del ojo humano.

Fotoperíodo hace referencia a la fracción de luz diurna de las 24 horas del día, que cambia a lo largo del año excepto en el ecuador. El fotoperíodo puede manipularse con la luz artificial.

Fototaxia es la tendencia de un organismo de moverse en determinada dirección en función de la distribución de luz en su ubicación. Es equivalente a la orientación en la dirección de la incidencia de la luz.

Fototaxia positiva significa que el movimiento se dirige hacia un resplandor creciente, lo que implica una atracción por la luz. La **fototaxia negativa** también es posible, lo que implica evitar la luz.

Fuente puntual: es una fuente de luz que emite luz desde una superficie reducida generalmente en todas las direcciones. Las fuentes puntuales led emiten en un hemisferio. Al no tener protección, las fuentes puntuales pueden observarse directamente y poseen un riesgo elevado de deslumbramiento.

GNL: es el gas natural licuado.

Hábitat de importancia nacional: son los humedales que albergan al 0,1% de la población de rutas migratorias de una sola especie de aves playeras migratorias; o 2 000 aves playeras migratorias; o 15 especies de aves playeras migratorias.

Hábitat fundamental para la supervivencia de la especie: es un área definida en un plan de recuperación para una especie amenazada incluida en las listas, que tiene por objeto la recuperación de la especie.

Hábitats importantes: son las áreas consideradas necesarias para que una proporción ecológicamente significativa de una especie incluida en las listas pueda llevar a cabo actividades importantes, tales como la búsqueda de alimento, la reproducción, el descanso o la dispersión. Los hábitats importantes serán específicos para la especie en cuestión y dependerán de su estado de conservación. Comprenden también las áreas designadas como **hábitat fundamental para la supervivencia** de una especie amenazada.

Hibernáculo. Ver «refugio de hibernación» dentro de «refugio».

HPS (high-pressure sodium lamp): es una lámpara de sodio de alta presión que produce una longitud de onda característica cercana a los 589 nm.

IAATO (International Association of Antarctica Tour Operators): es la Asociación Internacional de Operadores Turísticos de la Antártida.

Iluminación de tareas: se utiliza para proporcionar luz directa para actividades específicas sin iluminar toda el área u objeto.

Iluminación exterior: es la iluminación nocturna de un área mediante cualquier forma de instalación de luz exterior (luminaria).

Iluminancia: es una medida fotométrica del flujo luminoso total incidente sobre una superficie, por unidad de superficie. Es una medida de cuánto ilumina la superficie la luz incidente, ponderada en longitud de onda para correlacionarla con la percepción del resplandor por el ser humano. La iluminancia se mide en **lux** (lx) o, de forma equivalente, en **lúmenes** por metro cuadrado (lm/m²).

Intensidad: es la cantidad de energía o luz emitida en una determinada dirección. Como término general, «intensidad» puede utilizarse como sustituto de iluminancia o luminancia, irradiancia y todas las cualidades relativas a la luz. La intensidad como tal no es un término de iluminación definido y debería evitarse cuando se necesite utilizar cantidades específicas (incluidas unidades) o al analizar efectos específicos de la luz. Puede emplearse de manera descriptiva, pero no como cantidad formal.

Intensidad radiante (término radiométrico): es la cantidad de flujo emitido a través de un ángulo sólido conocido, W/estero radiante, y tiene una cantidad direccional.

Internacionalmente importante: se refiere al hábitat de humedales para aves playeras migratorias que alberga al 1% de los individuos de una población de una especie o subespecie; o una abundancia total de al menos 20 000 aves acuáticas.

IR (Infrared radiation): es radiación infrarroja y representa una banda del espectro electromagnético con una longitud de onda de 780 nm a 1 mm.

Irradiancia (término radiométrico): es una medida del flujo radiante en o sobre una superficie conocida, W/m². Esta medida es más adecuada para entender la percepción de la luz por parte de los animales, pero debe medirse con la sensibilidad espectral de un animal concreto para las longitudes de onda contenidas en la radiación percibida.

ISO es la Organización Internacional de Normalización. Las normas fundamentales de la CIE relativas a la luz y a la iluminación se publican también como normas ISO.

JAMBA (Japan-Australia Migratory Bird Agreement): es el *Acuerdo Japón-Australia de Aves Migratorias*.

Kelvin (K): es la unidad absoluta de temperatura y es de magnitud igual a un grado Celsius, pero con un punto cero distinto (0 °C = 273 K). El Kelvin se utiliza normalmente para describir la **temperatura de color correlacionada (CCT)**. 6000 K corresponden a la impresión en color de un radiador de cuerpo negro a una temperatura superficial de 5727 °C.

Lámpara: es un término genérico para una fuente de radiación óptica (luz), a menudo denominada "bombilla" o "tubo". Entre los ejemplos cabe incluir las lámparas incandescentes, fluorescentes, de descarga de alta intensidad (**HID**) y lámparas de sodio de baja presión (**LPS**),

así como módulos y matrices de diodos emisores de luz (**LED**). En las luminarias led modernas, los ledes se montan en tableros electrónicos denominados «motores de luz». El término «bombilla» se usa únicamente para formatos led integrados en las formas tradicionales de fuentes de luz clásicas.

LED (light-emitting diode): es un diodo emisor de luz o una fuente de luz semiconductor que emite luz cuando la corriente fluye a través de él. Este proceso funciona solo con ledes azules, rojos y verdes. Para los ledes blancos, ver led por conversión de fósforo.

Led por conversión de fósforo. El chip led (semiconductor) produce luz azul o violeta que se convierte parcialmente en distintos colores mediante una capa de fósforo que recubre el chip led. El fósforo emite luz visible con longitudes de onda más largas que la luz azul o violeta absorbida, y la luz emitida desde la superficie led es una mezcla de la luz del fósforo y la luz residual del chip led. Los fósforos estándar son mezclas de distintos cristales, y todos los ledes blancos funcionan por conversión de fósforo. La temperatura de color correlacionada está determinada por la mezcla y el grosor del fósforo. Además de luz blanca con una temperatura de color correlativa, las nuevas mezclas de fósforos permiten construir ledes con emisión de luz ámbar, roja o de otros colores. El ancho espectral de una emisión de fósforo suele abarcar un rango espectral más amplio que la emisión únicamente desde el semiconductor led.

Ley EPBC (Environment Protection and Biodiversity Act): es la *Ley de Protección Ambiental y Conservación de la Biodiversidad de 1999 de la Commonwealth*.

Longitud de onda: es una propiedad física atribuida a la energía de un fotón. Los fotones de longitud de onda corta poseen una energía superior que los fotones de longitudes de onda más largas. Las distribuciones de potencia espectral de las fuentes de luz muestran la intensidad (correspondiente al número de fotones) con longitudes de onda específicas. Para la parte visible de la radiación, la longitud de onda también es correlativa a la impresión de color. La luz ultravioleta y azul son ejemplos de luces con longitudes de onda cortas, mientras que la luz roja e infrarroja es una luz de longitud de onda larga. La longitud de onda de la radiación óptica se mide en nanómetros (los humanos pueden ver radiación entre 380 nm y 780 nm).

LPS (low pressure sodium): es una lámpara de sodio de baja presión que produce una longitud de onda característica cercana a los 589 nm.

Lumen (lm) (término fotométrico): es la unidad de **flujo luminoso**, una medida de la cantidad total de luz visible emitida por una fuente por unidad de tiempo. Esta medida es una unidad fotométrica, ponderada según la sensibilidad del ojo humano. Si una fuente de luz emite una intensidad luminosa de una candela uniformemente a través de un ángulo sólido de un estereorradián, el **flujo luminoso** total emitido en ese ángulo equivale a un lumen. Una fuente de luz puntual que posea una intensidad luminosa homogénea de una candela en cualquier dirección emite un flujo luminoso total de 12,57 lm.

Luminancia (cd/m²): es una medida **fotométrica** de la intensidad luminosa por unidad de superficie de luz que viaja en una determinada dirección, ponderada por longitud de onda para correlacionarse con la percepción humana del resplandor. La luminancia se mide en candelas por metro cuadrado (cd/m²). La luminancia y la **iluminancia** ("**Lux**") están relacionadas, en el sentido de que la luminancia es una medida de la luz emitida por una superficie (ya sea debido a la reflexión o porque es una superficie emisora de luz), y la iluminancia es una medida de la luz que incide en una superficie.

Luminaria apantallada: es una barrera física que se utiliza para limitar o modificar las trayectorias de luz de una luminaria.

Luminaria: se refiere a la unidad de iluminación completa (aparato o dispositivo de iluminación), que consta de una lámpara, o lámparas y balasto(s) (cuando corresponda), junto con las partes diseñadas para distribuir la luz (reflector, lente, difusor), para colocar y proteger las lámparas, y conectar las lámparas a la fuente de alimentación.

Lux (lx) es una medida **fotométrica** de iluminación de una superficie como flujo luminoso por superficie (en lm/m^2), mientras que la candela es la unidad para la cantidad de luz emitida en un ángulo sólido determinado. Ambas unidades se basan en la sensibilidad humana y no son la diferencia entre lux y **candela** es que el lux mide la iluminación de una superficie, en lugar de la de un ángulo. Ésta no es una medida apropiada para comprender cómo perciben la luz los animales.

Luz acumulativa: se refiere al aumento del resplandor del cielo debido a las contribuciones de emisiones luminosas de múltiples productores de luz, que se miden como **resplandor del cielo**.

Luz artificial: es la luz compuesta de luz visible, así como de radiación ultravioleta (UV) e infrarroja (IR) que deriva de una fuente antropogénica.

Luz reflejada: es la luz que rebota de una superficie. Las superficies de colores claros reflejan más luz que las superficies de colores más oscuros.

Luz: es la energía radiante que es visible para los seres humanos. La luz estimula los receptores del sistema visual y esas señales son interpretadas por el cerebro haciendo que las cosas sean visibles. Puesto que los animales poseen distintas sensibilidades de visión, las longitudes de onda, que no se consideran luz, pueden ser percibidas por los animales. Dichas longitudes de onda se denominan radiación.

Magnitudes por arco por segundo al cuadrado (magnitudes/arcsec²) (expresión radiométrica): es una expresión utilizada en astronomía para medir el resplandor del cielo en un área del cielo que tiene una superficie angular de un segundo por un segundo. La expresión magnitudes por segundo de arco al cuadrado significa que el resplandor en magnitudes se extiende en un área del cielo de un segundo de arco al cuadrado. Cada magnitud más baja (numéricamente) significa que algo más de 2,5 veces más luz proviene de un área determinada de cielo. Un cambio de 5 magnitudes/arcsec² significa que el cielo es 100 veces más brillante.

MNES (Matters of National Environmental Significance): son “asuntos de importancia ambiental nacional” según se define en la **Ley EPBC** y comprende especies migratorias amenazadas e incluidas en las listas.

Nanómetro (nm) es la unidad usada para la longitud de onda. $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 1$ milmillonésima parte de un metro o 1 millonésima parte de un milímetro. Se usa como la unidad para la longitud de onda de la radiación óptica. Las longitudes de onda superiores a 1000 nm, p. ej., para radiación infrarroja, se describen en μm (micrómetros). $1 \mu\text{m} = 1000 \text{ nm}$.

Pantalla: es un elemento opaco o translúcido para cubrir una fuente de luz de la vista directa o para evitar que la luz se refleje en una superficie como una pared.

Plano horizontal, en relación con un dispositivo de luz: es el plano horizontal que pasa por el centro de la fuente luminosa (por ejemplo, la bombilla) del dispositivo de luz.

Población genética: (también conocida como stock genético) es una agrupación discreta de una especie por parentesco genético. La gestión de la especie puede emprenderse sobre la base de un stock genético, porque cada stock genético representa una historia evolutiva única, que si se pierde ya no se puede reemplazar.

Radiación electromagnética: es un tipo de radiación que incluye luz visible, ondas de radio, rayos gamma y rayos X, en los que los campos eléctricos y magnéticos varían simultáneamente.

Radiancia (término radiométrico): es una medida de la intensidad radiante emitida desde una unidad de superficie de una fuente, medida en W/m^2 .

Radiometría: es la medida de todas las longitudes de onda en todo el espectro visible (no ponderadas según el ojo humano).

Receptor sensible: es cualquier organismo vivo sometido a una mayor sensibilidad o exposición a contaminantes ambientales que pueden tener efectos perjudiciales.

Relación de luz ascendente o ULR (Upward Light Ratio) o Flujo Hemisférico Superior de la Luminaria (FHS): es la proporción de luz (flujo) que emite una **luminaria** o instalación en y por encima de la horizontal, excluyendo la luz reflejada cuando la luminaria está montada en su posición paralela. La ULR es el flujo ascendente/flujo total de la luminaria.

Resplandor: es la fuerza de la sensación visual a simple vista cuando se ven superficies iluminadas.

Resplandor artificial del cielo: es la parte del resplandor del cielo que se atribuye a fuentes de luz creadas por el hombre (ver también **resplandor del cielo**).

Resplandor del cielo: es el resplandor del cielo nocturno causado por el efectivo acumulativo de la radiación reflejada (generalmente luz visible), que se difunde de los componentes de la atmósfera en la dirección de observación. El resplandor del cielo consta de dos componentes separados: el resplandor natural del cielo y el resplandor artificial del cielo (véase también **resplandor natural del cielo** y **resplandor artificial del cielo**).

Resplandor natural del cielo: es aquella parte del **resplandor del cielo** que se atribuye a la radiación de fuentes celestes y los procesos luminiscentes en la atmósfera superior de la Tierra.

RGB son las iniciales de «red», «green» y «blue» (rojo, verde y azul). Estos son los colores a los que es sensible el ojo humano. Las fuentes de luz rojas, verdes y azules pueden mezclarse para conseguir otros colores visibles para los humanos. En las cámaras digitales, la luz se divide en estos tres colores primarios y se mide por separado. Las imágenes en color constan de tres capas de la misma imagen: una para el azul, otra para el verde y otra para el rojo.

Refugios son lugares utilizados por murciélagos en diferentes momentos para distintas actividades. En función de la especie, los refugios pueden encontrarse en edificios, graneros, cuevas, minas, árboles, cavidades de árboles, etc. A continuación, se especifican los distintos tipos de refugios:

Refugio diurno – Un lugar en el que los murciélagos descansan o se refugian durante el día. **Refugio nocturno** – Un lugar en el que los murciélagos descansan o se refugian durante la noche. Puede ser usado por un único individuo o por una colonia completa. Los refugios nocturnos también pueden usarse como refugios diurnos. **Refugio de alimentación** – Un lugar en el que los murciélagos descansan o se alimentan durante la noche. **Refugio transitorio/ocasional** – Usado por unos pocos individuos u, ocasionalmente, pequeños grupos generalmente durante períodos de tiempo breves. **Refugio maternal** – En el que las murciélagas dan a luz y/o crían a sus hijos. **Refugio de hibernación** – En el que los murciélagos pueden encontrarse individualmente o juntos durante el invierno. Suelen tener una temperatura fresca constante y una humedad elevada.

ROKAMBA (Republic of Korea-Australia Migratory Bird Agreement): es el *Acuerdo República de Corea - Australia de Aves Migratorias*

Rutas de desplazamiento son rutas de vuelo usadas con regularidad por los murciélagos para volar de una zona de refugio a otra de búsqueda de alimento (y viceversa) o para moverse entre zonas de búsqueda de alimento o de refugio.

Sensor es un dispositivo electrónico empleado en iluminación para encender o apagar la luz o para atenuarla o aumentarla. Los sensores de presencia se usan para detectar la presencia de humanos u objetos (p. ej., vehículos) con la intención de atenuar o apagar la luz cuando no se detecta ninguna presencia. Los sensores de luz miden la luz natural o ambiental disponible y atenúan o apagan la luz artificial si los niveles de luz natural son suficientes. También pueden garantizar que solo se añade la cantidad necesaria de luz artificial para conseguir un nivel de luz determinado (p. ej., en lugares de trabajo). El uso de sensores ahorra energía y evita la utilización de luz cuando no sea necesaria.

Swarming es un comportamiento exhibido por algunas especies de murciélagos. El «*swarming* otoñal» es un comportamiento de algunas especies de murciélagos de climas templados que tiene lugar de finales del verano al otoño. El *Plecotus auritus* también realiza el «*swarming* primaveral». Los murciélagos pueden viajar muchos kilómetros hasta «lugares de *swarming*» subterráneos, a los que llegan varias horas antes del anochecer para pasarse un tiempo volando y marcharse antes del amanecer. El *swarming* es parte importante de las interacciones sociales, incluido el cortejo. Algunos lugares de *swarming* pueden usarse también como hibernáculos en momentos posteriores del año. *Swarming* («*swarming* matutino») también hace referencia al patrón de vuelo circular de algunas especies de murciélagos que se produce a la entrada de un refugio (sobre todo los maternos) antes de que los murciélagos entren al amanecer.

Temperatura de color correlacionada (CCT, Correlated Colour Temperature): es caracterizar las propiedades espectrales de una fuente de luz blanca artificial y está correlacionada con la respuesta del ojo humano. Se expresa en Kelvin (K).

Temperatura de color: es el color percibido de una fuente de luz que varía de blanco frío (azulado) a blanco cálido (amarillento), medido en Kelvin (K). La temperatura de color se usa únicamente para radiadores de cuerpo negro, en cuyo caso corresponde a su temperatura real, y para la luz diurna, mientras que para las fuentes de luz artificial se usa el término «temperatura de color correlacionada». Una baja temperatura de color correlacionada de 2500K tendrá una apariencia cálida, mientras que 6500K parecerá fría.

Términos fotométricos: se refieren a medidas de luz que se ponderan según la sensibilidad del ojo humano. No incluyen las longitudes de onda más cortas o más largas del espectro

visible y, por lo tanto, no son apropiadas para comprender el alcance total de cómo perciben los animales la luz.

Términos radiométricos: se refieren a la luz medida en todo el espectro visible (no ponderada según el ojo humano). Son apropiados para comprender cómo perciben los animales la luz.

Transmitancia de luz visible (VLT, Visible light transmittance): es la proporción de luz transmitida por el cristal de la ventana, que se registra como TVw (transmitancia visible de la ventana) y se comunica como un valor adimensional entre 0 y 1, o entre 0 y 100%. Una TVw baja (p. ej., <30%) indica que se transmite poca luz a través del cristal, mientras que los valores de TVw más altos están relacionados con un aumento de la transmitancia de la luz. Si bien la calificación de VLT/TVw varía entre 0 y 1, la mayor parte de las ventanas de doble cristal tienen una calificación de entre 0,3 y 0,7, lo que significa que a través de la ventana pasa entre el 30% y el 70% de la luz disponible.

UICN: es la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

UV: (radiación ultravioleta) es una radiación electromagnética con longitudes de onda de 400 nm a 100 nm, más cortas que la de la luz visible, pero más largas que las de los rayos X. La UV no es visible para los humanos, pero puede ser visible para muchos animales e insectos nocturnos.

Vataje: es la cantidad de electricidad necesaria para encender una bombilla. Generalmente, cuanto mayor es el vataje, más **lúmenes** se producen con el mismo tipo de fuente de luz. Los LEDs pueden producir más lumens con un vataje menor que el de las fuentes de luz tradicionales. Mayor es el vataje, mayor será el número de lúmenes y más brillante la luz.

Visión escotópica es la visión en condiciones de iluminación reducida o de práctica oscuridad en términos de sensibilidad humana. Otras especies son capaces de ver bien en condiciones escotópicas.

Visión fotópica es la visión humana en condiciones de buena iluminación. Permite la percepción de color, al contrario que la **visión escotópica** en niveles de luz bajos, que solo nos permite ver con una impresión gris azulada.

W/m²: es una medida de radiancia, la intensidad radiante emitida por unidad de superficie de una fuente de luz (ver **radiancia**). Es una medida apropiada para comprender cómo perciben los animales la luz cuando se mide con la sensibilidad espectral específica del animal para la radiación.

ZEE: se refiere a la Zona Económica Exclusiva de Australia.

Zumbidos de alimentación son secuencias estereotípicas de ecolocalización que indican que están preparándose para comer.

Referencias

- Adams CA, Fernández-Juricic E, Bayne EM, et al. (2021) Effects of artificial light on bird movement and distribution: a systematic map. *Environmental Evidence* 10:37.
- Ainley DG, Podolsky R, Nur N, et al. (2001) Status and population trends of the Newell's shearwater on Kauai: a model for threatened petrels on urbanized tropical oceanic islands. *Studies in Avian Biology* 22:108-123.
- Algvere PV, Marshall J y Seregard S (2006) Age-related maculopathy and the impact of blue light hazard. *Acta Ophthalmologica Scandinavica* 84(1):4-15.
- Allen JA (1880) Destruction of birds by light-houses. *Bulletin of the Nuttall Ornithological Club* 5:131-138.
- American Bird Conservancy (2023) Red Knot. Disponible en: <https://abcbirds.org/bird/Red-Knot/>
- Angers K, Haddad N, Selmaoui B, et al. (2003) Effect of melatonin on total food intake and macronutrient choice in rats. *Physiology and Behavior* 80:9-18.
- Atchoi E, Mitkus M y Rodríguez A (2020) Is seabird light-induced mortality explained by the visual system development? *Conservation Science and Practice* 2: e195.
- Austad M, Oppel S, Crymble J, et al. (2023) The effects of temporally distinct light pollution from ships on nocturnal colony attendance in a threatened seabird. *Journal of Ornithology* <https://doi.org/10.1007/s10336-023-02045-z>
- Azam C, Le Viol I, Bas Y, et al. (2018) Evidence for distance and illuminance thresholds in the effects of artificial lighting on bat activity. *Landscape and Urban Planning* 175: 123-135.
- Aziz SA, McConkey KR, Tanalgo K, et al. (2021) The critical importance of Old World fruit bats for healthy ecosystems and economies. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9: 641411.
- Bamford M, Watkins D, Bancroft W, et al. (2008) *Migratory Shorebirds of the East Asian-Australasian Flyway; Population Estimates and Internationally Important Sites: Wetlands International - Oceania*: Canberra, Australia. 249.
- Barentine JC (2019) Methods for Assessment and Monitoring of Light Pollution around Ecologically Sensitive Sites. *Journal of Imaging* 5(54).
- Barghini A y Souza de Medeiros BA (2012) UV radiation as an attractor for insects. *Leukos* 9(1): 47-56.
- Barré K, Kerbirou C, Ing R-K, et al. (2021) Bats seek refuge in cluttered environment when exposed to white and red lights at night. *Movement Ecology* 9: 3.
- Nota orientativa 08/18 de la Bat Conservation Trust y la Institution of Lighting Professionals (ILP) (2018). Bats and artificial lighting in the UK. Disponible en: <https://cdn.bats.org.uk/uploads/pdf/Resources/ilp-guidance-note-8-bats-and-artificial-lighting-compressed.pdf?v=1542109349>
- Bat Conservation Trust (2023a) Foraging habitats. Disponible en: <https://www.bats.org.uk/about-bats/where-do-bats-live/bat-habitats/foraging-habitats>
- Bat Conservation Trust (2023b) Bat habitats. Disponible en: <https://www.bats.org.uk/about-bats/where-do-bats-live/bat-habitats/commuting-habitats>
- Battersby J (comp.) (2017) Guidelines for Surveillance and Monitoring of European Bats. EUROBATS Publication Series No. 5. Secretaría del PNUMA/EUROBATS, Bonn, Alemania, 95 págs. 3ª edición. Disponible en: https://www.eurobats.org/sites/default/files/documents/publications/publication_series/EUROBATS_PublSer_No5_3rd_edition.pdf
- Battley PF, Warnock N, Tibbitts TL, et al. (2012) Contrasting extreme long-distance migration patterns in bar-tailed godwits *Limosa lapponica*. *Journal of Avian Biology* 43(1):21-32.
- Beadnell CM (1937) The Toll of Animal Life exacted by Modern Civilisation. *Proceedings of the Zoological Society of London* A107(2): 173-182.
- Benenson W, Harris JW, Stöcker H, et al. (eds.) (2006) *Handbook of physics*. Springer Science and Business Media.

- Bennie J, Davies TW, Cruse D, et al. (2016) Ecological effects of artificial light at night on wild plants. *Journal of Ecology* 104(3):611-620.
- Berson DM (2007) Phototransduction in ganglion-cell photoreceptors. *Pflügers Archiv* 454(5):849-855.
- Bird BL, Branch LC y Miller DL (2004) Effects of coastal lighting on foraging behaviour on beach mice. *Conservation Biology* 18:1435-1439.
- Black A (2005) Light induced seabird mortality on vessels operating in the Southern Ocean: incidents and mitigation measures. *Antarctic Science* 17:67-68.
- Boldogh S, Dobrosi D y Samu P (2007) The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. *Acta Chiropterologica*. 9(2): 527-534.
- Bolliger J, Hennet T, Wermelinger B, et al. (2020) Effects of traffic-regulated street lighting on nocturnal insect abundance and bat activity. *Basic and Applied Ecology* 47: 44-56.
- Bolton D, Mayer-Pinto M, Clark GF, et al. (2017) Coastal urban lighting has ecological consequences for multiple trophic levels under the sea. *Science of the Total Environment* 576:1-9.
- Bowmaker JK y Martin GR (1985) Visual pigments and oil droplets in the penguin, *Spheniscus humboldti*. *Journal of Comparative Physiology A* 156(1):71-77.
- Bowmaker JK, Heath LA, Wilkie SE, et al. (1997) Visual pigments and oil droplets from six classes of photoreceptor in the retinas of birds. *Vision Research* 37:2183-2194.
- Boyes DH, Evans DM, Fox R, et al. (2021) Is light pollution driving moth population declines? A review of causal mechanisms across the life cycle. *Insect Conservation and Diversity* 14(2): 167-187.
- Briedis M, Bauer S, Adamík P, et al. (2019) Broad-scale patterns of the Afro-Palaeartic landbird migration. *Global Ecology and Biogeography* 29(4): 722-735.
- Bruderer B, Peter D y Steuri T (1999) Behaviour of migrating birds exposed to X-band radar and a bright light beam. *Journal of Experimental Biology* 202(9): 1015-1022.
- Bruderer B, Peter D y Korner-Nievergelt F (2018) Vertical distribution of bird migration between the Baltic Sea and the Sahara. *Journal of Ornithology* 159: 315-336.
- Burgin CJ, Wilson DE, Mittermeier RA, et al. (2020) Illustrated Checklist of the Mammals of the World. Volumen 2. Eulipotyphla a Carnivora. Lynx Edicions, Barcelona.
- Cabrera-Cruz SA, Smolinsky JA y Buler JJ (2018) Light pollution is greatest within migration passage areas for nocturnally-migrating birds around the world. *Nature Scientific Reports* 8: e3261.
- Cabrera-Cruz SA, Cohen EB, Smolinsky JA, et al. (2020) Artificial Light at Night is Related to Broad-Scale Stopover Distributions of Nocturnally Migrating Landbirds along the Yucatan Peninsula, Mexico. *Remote Sensing* 12: 395.
- Cabrera-Cruz SA, Larkin RP, Gimpel ME, et al. (2021) Potential Effect of Low-Rise, Downcast Artificial Lights on Nocturnally Migrating Land Birds. *Integrative and Comparative Biology* 61(3): 1216-1236.
- Campbell C (1994) The effects of flash photography on nesting behavior of green turtles (*Chelonia mydas*) at Tortuguero, Costa Rica. In *Proceeding of the fourteenth annual symposium on sea turtle biology and conservation*. 1994. Memorando técnico de NOAA - NMFS-SEFSC.
- Campbell AL, Naik RR, Sowards L, et al. (2002) Biological infrared imaging and sensing. *Micron* 33(2): 211-225.
- Campos SMC (2017) The impact of artificial lighting on nature. Documento presentado en la 6º reunión de SENAC sobre conocimiento integrado, São Paulo, 18 de mayo de 2017.
- Cannell BL y Cullen JM (1998) The foraging behaviour of little penguins *Eudyptula minor* at different light levels. *Ibis* 140(3):467-471.
- Capuska GEM, Huynen L, Lambert D, et al. (2011) UVS is rare in seabirds. *Vision research* 51(12):1333-1337.
- Chevron Australia (2018) *Gorgon Gas Development and Jansz Feed Gas Pipeline Long- term Marine Turtle Management Plan*. 83.

- Cianchetti-Benedetti M, Becciu P, Massa B, et al. (2018) Conflicts between touristic recreational activities and breeding shearwaters: short-term effect of artificial light and sound on chick weight. *European Journal of Wildlife Research* 64:19.
- CIE 115:2010: Alumbrado de carreteras para tráfico de vehículos y peatones. Disponible en: <https://cie.co.at/publications/lighting-roads-motor-and-pedestrian-traffic-2nd-edition>
- CIE 150:2017 Guía para la Limitación de los Efectos Molestos Procedentes de las Instalaciones de Iluminación Exteriores. Disponible en: <https://cie.co.at/publications/guide-limitation-effects-obtrusive-light-outdoor-lighting-installations-2nd-edition>
- CIE 017:2020 ILV: Vocabulario Internacional de Iluminación, 2ª edición. Disponible en: <https://cie.co.at/e-ilv>
- CMS (2023a) Species. Disponible en: <https://www.cms.int/en/species>
- CMS (2023b) Central Asian Flyway. Disponible en: <https://www.cms.int/en/legalinstrument/central-asian-flyway>
- Cochran WW y Graber RR (1958) Attraction of nocturnal migrants by lights on a television tower. *The Wilson Bulletin*, 70(4), págs.378-380.
- Cohen EB, Horton KG, Marra PP, et al. (2021) A place to land: spatiotemporal drivers of stopover habitat use by migrating birds. *Ecology Letters* 24(1): 38-49.
- Colling OM, Guglielmo CG, Bonner SJ, et al (2022) Migratory songbirds and urban window collision mortality: Vulnerability depends on species, diel timing of migration, and age class. *Avian Conservation and Ecology*, 17(1), pág. 22.
- Collins J (ed.) (2016) Bat Surveys for Professional Ecologists: Good Practice Guidelines (3ª edición). Bat Conservation Trust, Londres. Disponible en: <https://www.bats.org.uk/resources/guidance-for-professionals/bat-surveys-for-professional-ecologists-good-practice-guidelines-3rd-edition>
- Colwell MA (2010) *Shorebird ecology, conservation, and management*. Berkeley, California: University of California Press. pág. 344
- Commonwealth de Australia (2016) *National Recovery Plan for the Mountain Pygmy-possum Burramys parvus* Prepared by the Victorian Department of Environment, Land, Water and Planning: Canberra, Australia. 43.
- Conklin JR y Colwell MA (2007) Diurnal and nocturnal roost site fidelity of Dunlin (*Calidris alpina pacifica*) at Humboldt Bay, California. *The Auk* 124(2):677-689.
- Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (2021) Recommendations to Keep Dark and Quiet Skies for Science and Society. Disponible en: <https://www.iau.org/static/publications/uncopuos-stsc-crp-8jan2021.pdf>
- Cravens ZM y Boyles JG (2019) Illuminating the physiological implications of artificial light on an insectivorous bat community. *Oecologia* 189: 69-77.
- Cresswell W (1994) Flocking is an effective anti-predation strategy in redshanks, *Tringa tetanus*. *Animal Behaviour* 47(2):433-442.
- Cruz LM, Shillinger GL, Robinson NJ, et al. (2018) Effect of light intensity and wavelength on the in-water orientation of olive ridley turtle hatchlings. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 505: 52-56.
- Cryan PM, Gorresen PM, Straw BR, et al. (2022) Influencing activity of bats by dimly lighting wind turbine surfaces with ultraviolet light. *Animals* 12:9.
- Davies TW y Smyth T (2017) Why artificial light at night should be a focus for global change research in the 21st century. *Global Change Biology* 24: 872-882.
- de Jong M, Ouyang JQ, Da Silva A, et al. (2015) Effects of nocturnal illumination on life-history decisions and fitness in two wild songbird species. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 370:20140128–20140128.
- den Outer P, Lolkema D, Haaima M, et al. (2011) Intercomparisons of Nine Sky Brightness Detectors. *Sensors* 11(10):9603.

- Departamento de Conservación y Pesquerías de Nueva Zelandia (2023) Mitigation Standards to Reduce Light-induced Vessel Strikes of Seabirds with New Zealand Commercial Fishing Vessels. Disponible en: <https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/56320-Mitigation-Standards-to-Reduce-Light-induced-Vessel-Strikes-of-Seabirds-with-New-Zealand-Commercial-Fishing-Vessels>
- Deppe L, Rowley O, Rowe LK, et al. (2017) Investigation of fallout events in Hutton's shearwaters (*Puffinus huttoni*) associated with artificial lighting. *Notornis* 64(4):181-191.
- Desouhant E, Gomes E, Mondy N, et al. (2019) Mechanistic, ecological, and evolutionary consequences of artificial light at night for insects: review and prospective. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 167: 37-58.
- Dias MP, Granadeiro JP, Lecoq M, et al. (2006) Distance to high-tide roosts constrains the use of foraging areas by dunlins: Implications for the management of estuarine wetlands. *Biological Conservation* 131:446-452.
- Dias MP, Martin R, Pearmain EJ et al. (2019) Threats to seabirds: a global assessment. *Biological Conservation* 237: 525-537. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.06.033>
- Dokter AM, Farnsworth A, Fink D, et al. (2018) Seasonal abundance and survival of North America's migratory avifauna determined by weather radar. *Nature ecology and evolution*, 2(10), págs.1603-1609.
- Dominoni DM, Goymann W, Helm B, et al. (2013) Urban-like night illumination reduces melatonin release in European blackbirds (*Turdus merula*): implications of city life for biological time-keeping of songbirds. *Frontiers in Zoology* 10: 60.
- Dominoni DM y Partecke J (2015) Does light pollution alter daylength? A test using light loggers on free-ranging European blackbirds (*Turdus merula*). *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 370(1667): 20140118.
- Duriscoe DM (2013) Measuring anthropogenic skyglow using a natural sky brightness model. *Publications of the astronomical society of the Pacific* 125:1370-1382.
- Dwyer RG, Bearhop S, Campbell HA, et al. (2013) Shedding light on light: benefits of anthropogenic illumination to a nocturnally foraging shorebird. *Journal of Animal Ecology* 82:478-485.
- Dzul-Cauich HF y Munguía-Rosas MA (2022) Negative effects of light pollution on pollinator visits are outweighed by positive effects on the reproductive success of a bat-pollinated tree. *The Science of Nature* 109(1), 1-11.
- Ecker JL, Dumitrescu ON, Wong KY, et al. (2010) Melanopsin-Expressing Retinal Ganglion-Cell Photoreceptors: Cellular Diversity and Role in Pattern Vision. *Neuron* 67(1):49-60.
- Eckert KL, Bjorndal KA, Abreu-Grobois FA, et al. (eds.) (1999) *Research and Management Techniques for the Conservation of Sea Turtles*. IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group Publication No. 4.: Washington, DC. 235.
- EAAFP (2018) EAAFP MOP10/D1: East Asian-Australasian Flyway Partnership 2019-2028 Strategic Plan. Disponible en: https://www.eaaflyway.net/wp-content/uploads/2019/07/MOP10_D01_Strategic-Plan-2019-2028_r_MJ.pdf
- Eisenbeis G (2006) Artificial night lighting and insects: attraction of insects to streetlamps in a rural setting in Germany. *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting* (edición de C. Rich y T. Longcore), págs. 281–304. Island Press, Washington, Distrito de Columbia.
- Elmore JA, Hager SB, Cosentino BJ, et al. (2021a) Correlates of bird collisions with buildings across three North American countries. *Conservation Biology*, 35(2), págs.654-665.
- Elmore JA, Riding CS, Horton KG, et al. (2021b) Predicting bird-window collisions with weather radar. *Journal of Applied Ecology* 58(8): 1593-1601.
- Erb V y Wyneken J (2019) Nest-to-Surf Mortality of Loggerhead Sea Turtle (*Caretta caretta*) Hatchlings on Florida's East Coast. *Frontiers in Marine Science* 6(271):doi: 10.3389/fmars.2019.00271.
- Evans Ogden LJ (1996) Collision course: the hazards of lighted structures and windows to migrating birds. *Fatal Light Awareness Program (FLAP)*, pág. 3.

- Evans WR, Akashi Y, Altman NS, et al. (2007) Response of night-migrating songbirds in cloud to colored and flashing light. *North American Birds* 60(4): 476-488.
- Evans WR (2010) Response by William R. Evans to: Green light for nocturnally migrating birds. *Ecology and Society* 15(3): r1. Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss3/resp1/>
- Faaborg J, Holmes RT, Anders AD (2010) Recent advances in understanding migration systems of New World land birds. *Ecological Monographs* 80(1): 3-48.
- Falchi F, Cinzano P, Duriscoe D, et al. (2016) The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances* 2(6):e1600377.
- Falcón J, Torriglia A, Attia D, et al. (2020) Exposure to Artificial Light at Night and the Consequences for Flora, Fauna, and Ecosystems. *Frontiers in Neuroscience* 14: 602796.
- Farnsworth A, Van Doren BM, Hochachka WM, et al. (2016) A characterization of autumn nocturnal migration detected by weather surveillance radars in the northeastern USA. *Ecological Applications* 26(3): 752-770.
- Feller K, Lagerholm S, Clubwala R, et al. (2009) Characterization of photoreceptor cell types in the little brown bat *Myotis lucifugus* (Vespertilionidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B, Biochemistry & Molecular Biology* 154: 412–418.
- Fischer JH, Debski I, Taylor GA, et al. (2021) Consistent offshore artificial light at night near the last breeding colony of a critically endangered seabird. *Conservation Science and Practice* 3(9): e481.
- Fobert EK, Burke da Silva K y Swearer SE (2019) Artificial light at night causes reproductive failure in clownfish. *Biology Letters* 15:e20190272.
- Foster, RG y Kreitzman, L (2005) *Rhythms of Life*. Profile Books, Londres.
- Frick, WF, Kingston, T y Flanders J (2020) A review of the major threats and challenges to global bat conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1469: 5-25.
- Fritches KA (2012) Australian loggerhead sea turtle hatchlings do not avoid yellow. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 45(2):79-89.
- Gastman EA (1886) Birds killed by electric light towers at Decatur, Ill. *American Naturalist*, 20(11), pág. 981.
- Gaston KJ, Visser ME y Holker F (2018) The biological impacts of artificial light at night: the research challenge. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 370:e20140133.
- Gauthreaux SA y Belser CG (2006) Effects of artificial night lighting on migrating birds. En: *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Rich C y Longcore T, eds. Island Press: Washington, D.C., EE. UU., págs. 67-93.
- Gehring J, Kerlinger P y Manville II AM (2009) Communication towers, lights, and birds: successful methods of reducing the frequency of avian collisions. *Ecological Applications* 19(2): 505–514.
- Gillings S y Scott C (2021) Nocturnal flight calling behaviour of thrushes in relation to artificial light at night. *Ibis* 163(4): 1379-1393.
- Gineste B, Souquet M, Couzi F-X, et al. (2016) Tropical shearwater population stability at Reunion Island, despite light pollution. *Journal of Ornithology* 158:385-394.
- González-Bernal E, Brown G y Shine R (2014) Invasive cane toads: Social facilitation depends upon an individual's personality. *PLoS ONE* 9(7):e102880.
- Griesemer AM y Holmes ND (2011) *Newell's shearwater population modeling for Habitat Conservation Plan and Recovery Planning Technical Report No. 176. The Hawai'i- Pacific Islands Cooperative Ecosystem Studies Unit and Pacific Cooperative Studies Unit* Universidad de Hawai: Honolulu, Hawai. 68.
- Grubisic M, Haim A, Bhusal P, et al. (2019) Light Pollution, Circadian Photoreception, and Melatonin in Vertebrates. *Sustainability* 11: 6400.
- Günther A, Einwich A, Sjulstok E, et al. (2018) Double-cone localization and seasonal expression pattern suggest a role in magnetoreception for European robin Cryptochrome 4. *Current Biology* 28(2): P211-223.

- Haddock JK (2018) Effects of artificial lighting on insectivorous bat communities in urban ecosystems. A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in the School of Life and Environmental Sciences, Faculty of Science, at The University of Sydney.
- Haddock JK, Threlfall CG, Law B, et al. (2019a) Light pollution at the urban forest edge negatively impacts insectivorous bats. *Biological Conservation* 236: 17-28.
- Haddock JK, Threlfall CG, Law B, et al. (2019b) Responses of insectivorous bats and nocturnal insects to local changes in street light technology. *Austral Ecology* 44(6): 1052-1064.
- Hänel A, Posch T, Ribas SJ, et al. (2018) Measuring night sky brightness: methods and challenges. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* doi: 10.1016/j.jqsrt.2017.09.008
- Harewood A y Horrocks J (2008) Impacts of coastal development on hawksbill hatchling survival and swimming success during the initial offshore migration. *Biological Conservation* 141:394-401.
- Hart NS (2001) The visual ecology of avian photoreceptors. *Progress in Retinal and Eye Research* 20:675-703.
- Harvie-Brown JA (1880) Report on the Migration of Birds. West, Newman.
- Henderson PA y Southwood TRE (2016) *Ecological Methods 4th Edition*.: Wiley-Blackwell. pág. 656.
- Hodge W, Limpus CJ y Smissen P (2007) *Queensland turtle conservation project: Hummock Hill Island Nesting Turtle Study December 2006 Conservation Technical and Data Report* Agencia de Protección Ambiental, Queensland. 1-10.
- Hooker D (1911) Certain reactions to color in the young loggerhead turtle. *Papers from the Tortugas Laboratory - Carnegie Institute* 13:71-76.
- Horch KW, Gocke JP, Salmon M, et al. (2008) Visual spectral sensitivity of hatchling loggerhead (*Caretta caretta* L.) and leatherback (*Dermochelys coriacea* L.) sea turtles, as determined by single-flash electroretinography. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 41(2):107-119.
- Horton KG, Van Doren BM, Stepanian PM et al. (2016a) Seasonal differences in landbird migration strategies. *Auk* 133: 761–769
- Horton KG, Van Doren BM, Stepanian PM et al. (2016b) Where in the air? Aerial habitat use of nocturnally migrating birds. *Biology Letters* 12: 20160591
- Horton KG, Nilsson C, Van Doren BM, et al. (2019a) Bright lights in the big cities: migratory birds' exposure to artificial light. *Frontiers in Ecology and the Environment* 17(4): 209-214.
- Horton KG, Van Doren BM, La Sorte FA, et al. (2019b) Holding steady: Little change in intensity or timing of bird migration over the Gulf of Mexico. *Global Change Biology* 25(3): 1106-1118.
- Horton KG, Van Doren BM, Albers HJ, et al. (2021) Near-term ecological forecasting for dynamic aeroconservation of migratory birds. *Conservation Biology* 35(6): 1777-1786.
- Hoyos-Díaz JM, Villalba-Alemán E, Ramoni-Perazzi P, et al. (2018). Impact of artificial lighting on capture success in two species of frugivorous bats (Chiroptera: Phyllostomidae) in an urban locality from the Venezuelan Andes. *Mastozoología Neotropical* 25(2): 473-478.
- Hu Z, Hu H y Huang Y (2018) Association between nighttime artificial light pollution and sea turtle nest density along Florida coast: A geospatial study using VIIRS remote sensing data. *Environmental Pollution* 239:30-42.
- IDA (International Dark-Sky Association) (2019) Guidance for Electronic Message Centers (EMCs). Disponible en: <https://www.darksky.org/wp-content/uploads/2019/05/EMC-Guidelines-IDA2019-1.pdf>
- IDA (International Dark-Sky Association) and IES (Illuminating Engineering Society) (2020) Five Principles for Responsible Outdoor Lighting. Disponible en: <https://www.darksky.org/our-work/lighting/lighting-principles/>
- Imamoto Y y Shichida Y (2014) Cone visual pigments. *Biochim. Biophys. Acta* 1837:664–673.
- Imber MJ (1975) Behaviour of petrels in relation to the moon and artificial lights. *Notornis* 22:302-306.

- Irsitech (2018) <https://iritech.co/how-iris-reduces-blue-light/visible-spectrum>. 2018 [visitado el 1 de octubre de 2018].
- ISO/CIE 23539:2023 Fotometría – El sistema CIE de fotometría física. Disponible en: <https://cie.co.at/publications/photometry-cie-system-physical-photometry-3>
- IUCN (2023) The IUCN Red List of Threatened Species. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org>
- Jechow A, Ribas SJ, Domingo RC, et al. (2018) Tracking the dynamics of skyglow with differential photometry using a digital camera with fisheye lens. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 209:212-223.
- Jechow A, Kyba CCM y Hölker F (2019) Beyond All-Sky: Assessing Ecological Light Pollution Using Multi-Spectral Full-Sphere Fisheye Lens Imaging *Journal of Imaging* 5(46):doi:10.3390/jimaging5040046.
- Jones J y Francis CM (2003) The effects of light characteristics on avian mortality at lighthouses. *Journal of Avian Biology* 34: 328-333.
- Kamrowski RL, Limpus CJ, Moloney J, et al. (2012) Coastal light pollution and marine turtles: Assessing the magnitude of the problem. *Endangered Species Research* 19:85-98.
- Kamrowski RL, CJ L, Pendoley K y Hamann M (2014) Influence of industrial light pollution on the sea-finding behaviour of flatback turtle hatchlings. *Wildlife Research* 41:421-434.
- Kerbiriou C, Barré K, Mariton L, et al. (2020) Switching LPS to LED streetlight may dramatically reduce activity and foraging of bats. *Diversity* 12(4): 165.
- Kemp MU, Shamoun-Baranes J, Dokter AM, et al. (2013) The influence of weather on the flight altitude of nocturnal migrants in mid-latitudes. *Ibis* 155: 734–749.
- Kernbach ME, Cassone VM, Unnasch TR, et al. (2020) Broad-spectrum light pollution suppresses melatonin and increases West Nile virus–induced mortality in House Sparrows (*Passer domesticus*). *The Condor* 122(3): duaa018.
- Kirby JS, Stattersfield AJ, Butchart SHM, et al. (2008) Key conservation issues for migratory land- and waterbird species on the world’s major flyways. *Bird Conservation International* 18: S49-S73.
- Klem Jr D (2008) Avian mortality at windows: the second largest human source of bird mortality on Earth. *Proceedings of the Fourth International Partners in Flight Conference: Tundra to Tropics*. 244-251
- Kolláth Z (2010) Measuring and modelling light pollution at the Zselic Starry Sky Park. *Journal of Physics: Conference Series* 2018(5th Workshop of Young Researchers in Astronomy and Astrophysics):012001.
- Korner P, von Maravic I y Haupt H (2022) Birds and the ‘Post Tower’ in Bonn: a case study of light pollution. *Journal of Ornithology* 163: 827-841.
- Kreitzman L y Foster RG (2010) Seasons of Life. Profile Books, Londres.
- Kruskop SV (2021) Diversity Aspects in Bats: Genetics, Morphology, Community Structure. *Diversity* 13: 424.
- Kumar R, Prasad DN y Elangovan V (2018) The effect of seasonal changes on emergence behaviour of the Indian flying fox, *Pteropus giganteus*. *Proceedings of the Zoological Society*. 72: 74-78.
- Kyba CCM, Ruhtz T, Fishcher J, et al. (2011) Cloud coverage acts as an amplifier for ecological light pollution in urban ecosystems. *PLoS ONE* 6(e17307).
- Kyba CCM, Kuester T, Sánchez de Miguel A, et al. (2017) Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances* 3:e1701528.
- Kyba CCM, Mohar A, Pintar G, et al. (2018) Reducing the environmental footprint of church lighting: matching façade shape and lowering luminance with the EcoSky LED. *International Journal of Sustainable Lighting* 20(1): 1-10.
- Kyheröinen E-M, Aulagnier S, Dekker J, et al. (2019) Guidance on the conservation and management of critical feeding areas and commuting routes for bats. EUROBATS Publication Series No. 9. Secretaría del PNUMA/EUROBATS, Bonn, Alemania, 109 págs Disponible en:

https://www.eurobats.org/sites/default/files/documents/publications/publication_series/WEB_DIN_A4_EUROBATS_09_ENGL_NVK_01042019.pdf

- La Sorte FA, Fink D, Hochachka WM, et al. (2014) The role of atmospheric conditions in the seasonal dynamics of North American migration flyways. *Journal of Biogeography* 41: 1685-1696.
- La Sorte FA, Hochachka WM, Farnsworth A, et al. (2015) Migration timing and its determinants for nocturnal migratory birds during autumn migration. *Journal of Animal Ecology* 84: 1202–1212.
- La Sorte FA, Fink D, Buler JJ, et al. (2017) Seasonal associations with urban light pollution for nocturnally migrating bird populations. *Global Change Biology*, 23(11), págs.4609-4619.
- La Sorte y Horton KG (2021) Seasonal variation in the effects of artificial light at night on the occurrence of nocturnally migrating birds in urban areas. *Environmental Pollution*, 270, pág. 116085.
- La Sorte FA, Aronson MFJ, Lepczyk CA, et al. (2022) Assessing the combined threats of artificial light at night and air pollution for the world’s nocturnally migrating birds. *Global Ecology and Biogeography*, en la prensa
- Lacoeuilhe A, Machon N, Julien J-F, et al. (2014) The Influence of Low Intensities of Light Pollution on Bat Communities in a Semi-Natural Context. *PLoS ONE*. 9(10): e103042.
- Lao S, Robertson BA, Anderson AW, et al. (2020) The influence of artificial light at night and polarized light on bird-building collisions. *Biological Conservation* 241: 108358.
- Lao S, Anderson AW, Blair RB, et al. (2023) Bird–building collisions increase with weather conditions that favor nocturnal migration and with inclement and changing weather. *Ornithological Applications*, 125(1), p.duac045.
- Le Corre M, Ollivier A, Ribes S et al. (2002) Light-induced mortality of petrels: a 4-year study from Réunion Island (Indian Ocean). *Biological Conservation* 105:93-102.
- Lebbin DJ, Harvey MG, Lenz TC, et al. (2007) Nocturnal Migrants Foraging at Night by Artificial Light. *The Wilson Journal of Ornithology* 119(3): 506-508.
- Lee KEM, Lum WHD y Coleman JL (2021) Ecological impacts of the LED-streetlight retrofit on insectivorous bats in Singapore. *PLoS ONE* 16(5): e0247900.
- Levenson DH, Eckert SA, Crognale MA, et al. (2004) Photopic Spectral Sensitivity of Green and Loggerhead Sea Turtles. *Copeia* 2004(2):908-914.
- Levin N, Kyba CCM, Zhang Q, et al. (2020) Remote sensing of night lights: A review and an outlook for the future. *Remote Sensing of the Environment* 237:111443.
- Lewanzik D y Voigt CC (2014) Artificial light puts ecosystem services of frugivorous bats at risk. *Journal of Applied Ecology* 51(2): 388-394.
- Kamrowski CJ, Limpus JD, CJ, et al. (2003) The green turtle, *Chelonia mydas*, population of Raine Island and the Northern Great Barrier Reef: 1843-2001. *Memoirs of the Queensland Museum* 49:349-440.
- Limpus CJ y Kamrowski RL (2013) Ocean-finding in marine turtles: The importance of low horizon elevation as an orientation cue. *Behaviour* 150:863-893.
- Lohmann KJ, Witherington B, Lohmann CMF, et al. (1997) Orientation, navigation, and natal beach homing in sea turtles. En: *The Biology of Sea Turtles. Volume I*, Lutz PL y Musick JA, eds. CRC Press: Washington D.C., págs. 107-135.
- Longcore T y Rich C (2004) Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* , 2(4), págs.191 -198.
- Longcore T, Rich C, Mineau P, et al. (2013) Avian mortality at communication towers in the United States and Canada: which species, how many, and where? *Biological Conservation* 158:410-419.
- Longcore T, Aldern HL, Eggers JF, et al. (2015) Tuning the white light spectrum of light emitting diode lamps to reduce attraction of nocturnal arthropods. *Philosophical Transactions Royal Society B* 370: 201401125.
- Longcore T, Rodríguez A, Witherington B, et al. (2018) Rapid assessment of lamp spectrum to quantify ecological effects of light at night. *Journal of Experimental Zoology Part A Ecological and Integrative Physiology* 2018:1-11.

- Loss SR, Will T, Loss SS, et al. (2014) Bird-building collisions in the United States: Estimates of annual mortality and species vulnerability. *The Condor* 116: 8-23.
- Loss SR, Lao S, Eckles JW, et al. (2019) Factors influencing bird-building collisions in the downtown area of a major North American city. *PLoS ONE* 14(11): e0224164.
- Loss SR, Li BV, Horn LC, et al (2023) Citizen Science to address the global issue of bird-window collisions. *Frontiers in Ecology and the Environment* <https://doi.org/10.1002/fee.2614>
- Lourenço PM, Silva A, Santos CD, et al. (2008) The energetic importance of night foraging for waders wintering in a temperate estuary. *Acta Oecologica* 34:122-139.
- Luo B, Xu R, Li Y, et al. (2021) Artificial light reduces foraging opportunities in wild least horseshoe bats. *Environmental Pollution* 288: 117765.
- McLaren JD, Buler JJ, Schreckengost T, et al. (2018) Artificial light at night confounds broad-scale habitat use by migrating birds. *Ecology Letters* 21(3):356-364.
- McNeil R, Drapeau P y Pierotti R (1993) Nocturnality in Colonial Waterbirds: Occurrence, Special Adaptations, and Suspected Benefits'. En: *Current Ornithology*, Power DM, ed. Springer: Boston, MA., págs. 187-246.
- Mena JL, Rivero J, Bonifaz E, et al. (2021) The effect of artificial light on bat richness and nocturnal soundscapes along an urbanization gradient in an arid landscape of central Peru. *Urban Ecosystems*. doi: 10.1007/s11252-021-01163-x
- Merkel FR y Johansen KL (2011) Light-induced bird strikes on vessels in Southwest Greenland. *Marine Pollution Bulletin* 62:2330-2336.
- Mitkus M, Nevitt GA, Danielsen J, et al. (2016) Vision on the high seas: spatial resolution and optical sensitivity in two procellariiform seabirds with different foraging strategies. *Journal of Experimental Biology* 219:3329-3338.
- Montevecchi WA (2006) Influences of Artificial Light on Marine Birds. En: *Ecological consequences of artificial night lighting*, Rich C y Longcore T, eds. Island Press: Washington DC., pág. 480.
- Moreau RE (1972) The Palaearctic-African bird migration systems. Londres, Nueva York, Academic Press.
- Moro D, van de Merwe J, Thomas M, et al. (2018) Integrating resource development with island conservation: Barrow Island as a model for conservation and development. En: *Australian Island Arks: Conservation, Management and Opportunities*, Moro D, Ball D y Bryant S, eds. CSIRO Publishing: Melbourne, págs. 131-146.
- Mrosovsky N (1968) Nocturnal emergence of hatchling sea turtles: control by thermal inhibition of activity. *Nature* 220:1338-1339.
- Mrosovsky N (1972) The water finding ability of sea turtles. *Brain Behaviour and Evolution* 5:202-225.
- Mrosovsky N y Shettleworth SJ (1968) Wavelength preferences and brightness cues in the water finding behaviour of sea turtles. *Behaviour* 32:211-257.
- Mu T, Cai S, Peng H-B, et al. (2022) Evaluating staging habitat quality to advance the conservation of a declining migratory shorebird, Red Knot *Calidris canutus*. *Journal of Applied Ecology* 59(8): 2084-2093.
- Murugavel B, Kelber A y Somanathan H (2021) Light, flight and the night: effect of ambient light and moon phase on flight activity of pteropodid bats. *Journal of Comparative Physiology* 207: 59-68.
- Murphy RC (1936) *Oceanic birds of South America*. Nueva York: Macmillan. pág.
- Newman EA y Hartline PH (1981) Integration of visual and infrared information to bimodal neurons in the rattlesnake optic tectum. *Science* 213(4509):789-91.
- Newton I (2007) Weather-related mass-mortality events in migrants. *Ibis* 149: 453-467.
- Newton I (2008) The migration ecology of birds. Academic Press, Londres.

- Nichols KS, Homayoun T, Eckles J, et al. (2018) Bird-building collision risk: An assessment of the collision risk of birds with buildings by phylogeny and behavior using two citizen- science datasets. *PLoS ONE* 13(8): e0201558.
- Norevik G, Åkesson S, Andersson A, et al. (2019) The lunar cycle drives migration of a nocturnal bird. *PLoS Biology* 17(10): e3000456.
- Ouyang JQ, de Jong M, Hau M, et al. (2015) Stressful colours: corticosterone concentrations in a free-living songbird vary with the spectral composition of experimental illumination. *Biology Letters* 11:20150517.
- Owens ACS and Lewis SM (2018) The impact of artificial light at night on nocturnal insects: A review and synthesis. *Ecology and Evolution* 8(22): 11337-11358.
- Owens ACS, Cochard P, Durrant J, et al. (2020) Light pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation* 241: 108259.
- Parkins KL, Elbin SB y Barnes E (2015) Light, glass, and bird-building collisions in an urban park. *Northeastern Naturalist* 22(1): 84-94.
- Pendoley K (2000) *The influence of gas flares on the orientation of Green Turtle hatchlings at Thevenard Island, Western Australia* en Pilcher NJ e Ismail G, eds., *Second ASEAN Symposium and Workshop on Sea Turtle biology and Conservation* ASEAN Academic Press: Kota Kinabalu, Borneo. 130-142.
- Pendoley KL (2005) *Sea Turtles and the Environmental Management of Industrial Activities in North Western Australia* Murdoch University. 330.
- Pendoley K y Kamrowski RL (2015a) Influence of horizon elevation on the sea-finding behaviour of hatchling flatback turtles exposed to artificial light glow. *Marine Ecology Progress Series* 529:279-288.
- Pendoley K y Kamrowski RL (2015b) Sea-finding in marine turtle hatchlings: What is an appropriate exclusion zone to limit disruptive impacts of industrial light at night? *Journal for Nature Conservation* 30:1-11.
- Pendoley KL, Whittock PA, Vitenbergs A, et al. (2016) Twenty years of turtle tracks: marine turtle nesting activity at remote locations in the Pilbara, Western Australia. *Australian Journal of Zoology* 64:217-226.
- Pennell JP (2000) *The Effect of Filtered Roadway Lighting on Nesting by Loggerhead Sea Turtles (Caretta caretta) and Green Turtle (Chelonia mydas) Hatchlings* Florida Atlantic University: Boca Raton.
- Piersma T y Baker AJ (2000) Life history characteristics and the conservation of migratory shorebirds. En: *Behaviour and conservation*, Gosling LM y Sutherland WJ, eds. Cambridge University Press: Cambridge, Reino Unido, págs. 105-124.
- Piersma T, Lok T, Chen Y, et al. (2016) Simultaneous declines in summer survival of three shorebird species signals a flyway at risk. *Journal of Applied Ecology* 53(2): 479-490.
- Pinzon-Rodriguez A, Bensch S y Muheim R (2018) Expression patterns of cryptochrome genes in avian retina suggest involvement of Cry4 in light-dependent magnetoreception. *Journal of the Royal Society Interface* 15: 20180058.
- Podolsky R, Ainley D, Spencer G, et al. (1998) Mortality of Newell's shearwaters caused by collisions with urban structures on Kauai. *Colonial Waterbirds* 21:20-34.
- Poot H, Ens B, Vries H, et al. (2008) Green light for nocturnally migrating birds. *Ecology and Society* 13(2):47.
- Price JT, Drye B, Domangue RJ, et al. (2018) Exploring the role of artificial light in Loggerhead turtle (*Caretta caretta*) nest-site selection and hatchling disorientation. *Herpetological Conservation and Biology* 13(2):415-422.
- Procheş S (2005) The world's biogeographical regions: cluster analyses based on bat distributions. *Journal of Biogeography* 32: 607-614.

- Raine H, Borg JJ, Raine A, et al. (2007) *Light Pollution and Its Effect on Yelkouan Shearwaters in Malta; Causes and Solutions* BirdLife Malta: Malta: Life Project Yelkouan Shearwater. 1-54.
- Rebke M, Dierschke V, Weiner CN, et al. (2019) Attraction of nocturnally migrating birds to artificial light: The influence of colour, intensity and blinking mode under different cloud cover conditions. *Biological Conservation* 233: 220-227.
- Reed JR, Sincock JL y Hailman JP (1985) Light attraction in endangered procellariform birds: reduction by shielding upward radiation. *Auk* 102:377-383.
- Reed JR (1986) *Seabird vision: Spectral sensitivity and light-attraction behavior* Universidad de Wisconsin: Madison, Wisconsin. 190.
- Rich C y Longcore T (eds.) (2006) *Ecological consequences of artificial night lighting*. Island Press: Washington DC. 480.
- Richardson WJ (1978) Timing and amount of bird migration in relation to weather: A review. *Oikos* 30: 224–272.
- Riding CS, O’Connell TJ y Loss SR (2021) Multi-scale temporal variation in bird-window collisions in the central United States. *Scientific Reports*, 11(1), pág. 11062.
- Robert KA, Lesku JA, Partecke J, et al. (2015) Artificial light at night desynchronizes strictly seasonal reproduction in a wild mammal. *Proceedings of the Royal Society B* 282:20151745.
- Robertson K, Booth DT y Limpus CJ (2016) An assessment of ‘turtle-friendly’ lights on the sea-finding behaviour of loggerhead turtle hatchlings (*Caretta caretta*). *Wildlife Research* 43:27-37.
- Rodríguez A, Rodríguez B y Lucas MP (2012) Trends in numbers of petrels attracted to artificial lights suggest population declines in Tenerife, Canary Islands. *Ibis* 154:167-172.
- Rodríguez A, Burgan G, Dann P, et al. (2014) Fatal attraction of short-tailed shearwaters to artificial lights. *PLoS ONE* 9(10):e110114.
- Rodríguez A, García D, Rodríguez B, et al. (2015a) Artificial lights and seabirds: is light pollution a threat for the threatened Balearic petrels? *Journal of Ornithology* 156:893-902.
- Rodríguez A, Rodríguez B y Negro JJ (2015b) GPS tracking for mapping seabird mortality induced by light pollution. *Scientific Reports* 5:10670.
- Rodríguez A, Dann P y Chiaradia A (2017a) Reducing light-induced mortality of seabirds: High pressure sodium lights decrease the fatal attraction of shearwaters. *Journal for Nature Conservation* 39:68-72.
- Rodríguez A, Moffet J, Revoltos A, et al. (2017b) Light pollution and seabird fledglings: targeting efforts in rescue programs. *Journal of Wildlife Management* 81:734-741.
- Rodríguez A, Holmes ND, Ryan PG, et al. (2017c) A global review of seabird mortality caused by land-based artificial lights. *Conservation Biology* 31:986-1001.
- Rodríguez A, Holmberg R, Dann P, et al. (2018) Penguin colony attendance under artificial lights for ecotourism. *JEZ-A Ecological and Integrative Physiology* 329(8- 9):457-464.
- Rodríguez A, Rodríguez B, Acosta Y, et al. (2022) Tracking flights to investigate seabird mortality induced by artificial lights. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9: 786557.
- Rogers DI, Battley PF, Piersma T, et al. (2006a) High-tide habitat choice: insights from modelling roost selection by shorebirds around a tropical bay. *Animal Behaviour* 72(3):563-575.
- Rogers DI, Piersma T y Hassell CJ (2006b) Roost availability may constrain shorebird distribution: Exploring the energetic costs of roosting and disturbance around a tropical bay. *Biological Conservation* 133(2):225-235.
- Rojas LM, McNeil R, Cabana T, et al. (1999) Diurnal and nocturnal visual capabilities in shorebirds as a function of their feeding strategies. *Brain Behavior and Evolution* 53(1):29-43.
- Ross GJB, Burbidge AA, Canty P, et al. (1996) Status of Australia's Seabirds. En: *State of the Environment Report*. CSIRO Sustainable Ecosystems: Perth, pág. 167-182.

- Rowse EG, Lewanzik D, Stone EL, et al. (2016) Dark matters: the effects of artificial lighting on bats. En C.C Voigt y T. Kingston (eds.) *Bats in the anthropocene: conservation of bats in a changing world*. págs 187–213. Nueva York, NY: Springer (acceso abierto; <http://www.springer.com/gb/book/9783319252186>).
- Russart KLG y Nelson RJ (2018) Artificial light at night alters behavior in laboratory and wild animals. *JEZ-A Ecological and Intergrative Physiology* 329(8- 9):401-408.
- Russo D, Cistrone L, Libralato N, et al. (2017). Adverse effects of artificial illumination on bat drinking activity. *Animal Conservation* 20(6): 492-501.
- Russo D, Cosentino F, Festa F, et al. (2019). Artificial illumination near rivers may alter bat-insect trophic interactions. *Environmental Pollution* 252: 1671-1677.
- Rydell J (1992) Exploitation of insects around streetlamps by bats in Sweden. *Functional Ecology* 6(6): 744-750.
- Rydell J, Eklöf J y Sánchez-Navarro S (2017) Age of enlightenment: long-term effects of outdoor aesthetic lights on bats in churches. *Royal Society Open Science* 4: 161077.
- Rydell J, Michaelsen TC, Sánchez-Navarro S, et al. (2021) How to leave the church: light avoidance by brown long-eared bats. *Mammalian Biology* 101: 979-986.
- Salinas-Ramos VB, Ancillotto L, Cistrone L, et al. (2021) Artificial illumination influences niche segregation in bats. *Environmental Pollution* 284: 117187.
- Salmon M (2003) Artificial night lighting and sea turtles. *Biologist* 50:163-168.
- Salmon M (2006) Protecting Sea Turtles from Artificial Night Lighting at Florida's Oceanic Beaches. En: *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Rich C y Longcore T, (eds.) Island Press: Washinton DC, págs. 141-168.
- Salmon M y Wyneken J (1990) Do swimming loggerhead turtles (*Caretta caretta* L.) use light cues for offshore orientation? . *Marine Behavioural Physiology* 17:233-246.
- Salmon M, Wyneken J, Fritz E, et al. (1992) Sea finding by hatchling sea turtles: Role of brightness, silhouette and beach slope as orientation cues. *Behaviour* 122:56- 77.
- Salmon M, Reiners R, Lavin C, et al. (1995) Behavior of loggerhead sea turtles on an urban beach. I. Correlates of nest placement. *Journal of Herpetology* 29(4):560- 567.
- Sánchez de Miguel A, Bennie J, Rosenfeld E, et al. (2021) First Estimation of Global Trends in Nocturnal Power Emissions Reveals Acceleration of Light Pollution. *Remote Sensing* 13(16): 3311.
- Sanders D y Gaston KJ (2018) How ecological communities respond to artificial light at night. *Journal of Experimental Zoology* 329(8-9):394-400.
- Sanders D, Frago E, Kehoe R, et al. (2021) A meta-analysis of biological impacts of artificial light at night. *Nature Ecology and Evolution* 5: 74-81.
- Santiago-Quesada F, Estrella SM, Sanchez-Guzman JM et al. (2014) Why water birds forage at night: a test using black-tailed godwits *Limosa limosa* during migratory periods. *Journal of Avian Biology* 45(4):406-409.
- Santos CD, Miranda AC, Granadeiro JP, et al. (2010) Effects of artificial illumination on the nocturnal foraging of waders. *Acta Oecologica* 36:166-172.
- Schneider RM, Barton CM, Zirkle KW, et al. (2018) Year-round monitoring reveals prevalence of fatal bird-window collisions at the Virginia Tech Corporate Research Center. *PeerJ* 6: e4562.
- Scott KM, Danko A, Plant P, et al. (2023) What causes bird-building collision risk? Seasonal dynamics and weather drivers. *Ecology and Evolution*, 13(4), p.e9974.
- Seewagen CL y Adams AM (2021) Turning to the dark side: LED light at night alters the activity and species composition of a foraging bat assemblage in the northeastern United States. *Ecology and Evolution* 11: 5635-5645.
- Senzaki M, Barber JR, Phillips JN, et al. (2020) Sensory pollutants alter bird phenology and fitness across a continent. *Nature* 587 (7835):605-609.

- Shcherbakov S, Knörzer A, Espenhahn S, et al. (2013) Sensitivity Differences in Fish Offer Near-Infrared Vision as an Adaptable Evolutionary Trait. *PLoS ONE* 8(5): e64429.
- Simmonds NB y Cirranello AL (2023) Bat species of the World: A taxonomic and geographic database. Versión 1.3. Disponible en: <https://www.batnames.org>
- Simões BF, Foley NM, Hughes GM, et al. (2018) As blind as a bat? Opsin phylogenetics illuminates the evolution of color vision in bats. *Molecular Biology and Evolution* 36: 54–68.
- Smith RA, Gagné M y Fraser KC (2021) Pre-migration artificial light at night advances the spring migration timing of a trans-hemispheric migratory songbird. *Environmental Pollution* 269: 116136.
- Somers-Yeates R, Hodgson D, McGregor PK, et al. (2013) Shedding light on moths: shorter wavelengths attract noctuids more than geometrids. *Biology Letters* 9: 20130376.
- Spoelstra K y Visser ME (2013) The impact of artificial light on avian ecology. *Avian Urban Ecol*, 4, págs. 21-28.
- Spoelstra K, van Grunsven RHA, Ramakers JJC, et al. (2017) Response of bats to light with different spectra: light-shy and agile bat presence is affected by white and green, but not red light. *Proc. R. Soc. B.* 284: 20170075.
- Spoelstra K, Ramakers JJC, van Dis NE, et al. (2018) No effect of artificial light of different colors on commuting Daubenton's bats (*Myotis daubentonii*) in a choice experiment. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology* 329: 506-510.
- Estado de Queensland (2020) Flying-fox roost management guideline. Preparado por: Wildlife and Threatened Species Operations, Department of Environment and Science. Disponible en: https://www.qld.gov.au/data/assets/pdf_file/0009/221022/Guideline-Roost-Management.pdf
- Stone EL, Harris S y Jones G (2015) Impacts of artificial lighting on bats: a review of challenges and solutions. *Mammalian Biology* 80: 213-219.
- Straka TM, Wolf M, Gras P, et al. (2019) Tree cover mediates the effect of artificial light on urban bats. *Frontiers in Ecology and Evolution* 7: 91.
- Straka TM, Greif S, Schultz S, et al. (2020) The effect of cave illumination on bats. *Global Ecology and Conservation* 21: e00808.
- Straka TM, von der Lippe M, Voigt CC, et al. (2021) Light pollution impairs urban nocturnal pollinators but less so in areas with high tree cover. *Science of the Total Environment* 778: 146244.
- Surman CA y Nicholson LW (2014a) *The Integrated Shearwater Monitoring Project (ISMP): Annual Report for the 2013/14 Season*. Unpublished report prepared for Apache Energy Ltd. Halfmoon Biosciences. 47.
- Surman CA y Nicholson LW (2014b) *Monitoring of annual variation in seabird breeding colonies throughout the Lowendal Group of islands: 2014 Annual Report*. Lowendal Island Seabird Monitoring Program (LISMP) Unpublished report prepared for Apache Energy Ltd. by Halfmoon Biosciences. 59.
- Syposz M, Goncalves F, Carty M, et al. (2018) Factors influencing Manx Shearwater grounding on the west coast of Scotland. *Ibis* 160:846-854.
- Syposz M, Padgett O, Willis J, et al. (2021) Avoidance of different durations, colours and intensities of artificial light by adult seabirds. *Scientific Reports* 11: 18941.
- Szaz D, Horvath G, Barta A, et al. (2015) Lamp-lit Bridges as Dual Light-Traps for the Night-Swarming Mayfly, *Ephoron virgo*: Interaction of Polarized and Unpolarized Light Pollution. *PLoS ONE* 10(3): e0121194.
- Tanalgo KC, Tabora JAG, Oliveira HFM, et al. (2021) DarkCides 1.0, a global database for bats in karsts and caves. *Scientific Data* 9: 155.
- Telfer TC, Sincock JL, Byrd GV, et al. (1987) Attraction of Hawaiian seabirds to lights: conservation efforts and effects of moon phase. *Wildlife Society Bulletin* 15:406- 413.
- Thums M, Whiting SD, Reisser JW, et al. (2016) Artificial light on water attracts turtle hatchlings during their near shore transit. *Royal Society Open Science* 3:e160142.

- Tosini G, Ferguson I y Tsubota K (2016) Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. *Molecular Vision* 22:61-72.
- Troy J, Holmes N, Veech J, et al. (2013) Using observed seabird fallout records to infer patterns of attraction to artificial light. *Endangered Species Research* 22:225-234.
- Ulrich W, Sachanowicz K y Michalak M (2007) Environmental correlates of species richness of European bats (Mammalia: Chiroptera) *Acta Chiropterologica* 9(2): 347-360.
- (ONU) Naciones Unidas (2019) World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420) Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población. Nueva York: Naciones Unidas. Disponible en: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>
- Secretaría del PNUMA/AEWA (2021) Status and trends of migratory waterbird populations in the African-Eurasian Flyways. AEWA Popular Series. Bonn, Alemania. Disponible en: https://www.unep-aewa.org/sites/default/files/publication/AEWA%20Conservation%20Status%20Report_FINAL_EN_WEB.pdf
- PNUMA/CMS (2014) A Review of Migratory Bird Flyways and Priorities for Management. Secretaría del PNUMA/CMS, Bonn, Alemania, 164 páginas. CMS Technical Series No. 27. Disponible en: https://www.cms.int/sites/default/files/publication/CMS_Flyways_Reviews_Web.pdf
- Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre (2020) Dark and Quiet Skies for Science and Society. On-line Workshop Report and Recommendations. Disponible en: <https://www.iau.org/static/publications/dqskies-book-29-12-20.pdf>
- Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre (2021) Dark and Quiet Skies for Science and II Society II. On-line Workshop Report and Recommendations. Disponible en: https://www.iau.org/static/science/scientific_bodies/working_groups/286/dark-quiet-skies-2-working-groups-reports.pdf
- Van Belle J, Shamoun-Baranes J, Van Loon E, et al. (2007) An operational model predicting autumn bird migration intensities for flight safety. *Journal of Applied Ecology* 44: 864–874.
- Van de Kam J, Ens B, Piersma T, et al. (2004) *Shorebirds: an illustrated behavioural ecology*. Utrecht, Países Bajos: KNNV Publishers. pág. 368.
- Van Doren BM, Sheldon D, Geevarghese J, et al. (2015) Autumn morning flights of migrant songbirds in the northeastern United States are linked to nocturnal migration and winds aloft. *Auk* 132:105–118
- Van Doren BM, Horton KG, Dokter AM, et al. (2017) High-intensity urban light installation dramatically alters nocturnal bird migration. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias*, 114(42), págs.11175-11180.
- Van Doren BM y Horton KG (2018) A continental system for forecasting bird migration. *Science* 361(6407): 1115-1118.
- Van Doren BM, Willard DE, Hennen M, et al. (2021) Drivers of fatal bird collisions in an urban center. *PNAS* 118(24): e2101666118.
- Verheijen FJ (1985) Photopollution - artificial light optic spatial control systems fail to cope with incidents, causations, remedies. *Experimental Biology* 44(1):1-18.
- Voigt CC y Kingston T (eds.) (2016) *Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World*. Springer Cham.
- Voigt CC, Azam C, Dekker J et al. (2018a) Guidelines for consideration of bats in lighting projects. EUROBATS Publication Series No. 8 Secretaría del PNUMA/EUROBATS, Bonn, Alemania, 62.págs.
- Voigt CC, Rehnig K, Lindecke O et al. (2018b) Migratory bats are attracted by red light but not by warm-white light: Implications for the protection of nocturnal migrants. *Ecology and Evolution* 8: 9353-9361. doi: 10.1002/ece3.4400
- Voigt CC, Dekker J, Fritze M, et al. (2021) The impact of light pollution on bats varies according to foraging guild and habitat context. *BioScience* 71(10): 1103-1109.

- Vorobyev M (2003) Coloured oil droplets enhance colour discrimination. *Proceedings Biological Sciences* 270:1255–1261.
- Votier SC and Sherley RB (2017) Seabirds. *Current Biology* 27: R448-R450. [https://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822\(17\)30075-1.pdf](https://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822(17)30075-1.pdf)
- Wakefield A, Broyles M, Stone EL, et al. (2018) Quantifying the attractiveness of broad-spectrum street lights to aerial nocturnal insects. *Journal of Applied Ecology* 55: 714-722. doi: 10.1111/1365-2664.13004
- Warham J (1990) *The Behaviour, Population Biology and Physiology of the Petrels*. Londres: Academic Press. pág. 440.
- Warrant E (2019) Invertebrates vision. *Encyclopedia of Animal Behaviour*, 2nd Edn, ed. J. C. Choe (Ámsterdam: Elsevier), 64–79.
- Warrant EJ, Frost B, Green K, et al. (2016) The Australian Bogong moth *Agrotis infusa*: A long-distance nocturnal navigator. *Frontiers in Behavioural Neuroscience* 10:doi: 10.3389/fnbeh.2016.00077.
- Watanuki Y (1986) Moonlight avoidance behavior in leach's storm-petrels as a defense against slaty-backed gulls. *The Auk* 103(1):14-22.
- Watson MJ, Wilson DR y Mennill DJ (2016) Anthropogenic light is associated with increased vocal activity by nocturnally migrating birds. *The Condor* 118(2): 338-344.
- Watson R (2017) Ringing at Ngulia to map avian migration. *Swara* abril-junio 2017: 50-54. Disponible en: [safring.birdmap.africa/papers/Ringing at Ngulia.pdf](safring.birdmap.africa/papers/Ringing%20at%20Ngulia.pdf)
- Watts BD, Reed ET y Turrin C (2015) Estimating sustainable mortality limits for shorebirds using the Western Atlantic Flyway. *Wader Study* 122(1): 37-53.
- West KE, Jablonski MR, Warfield B, et al. (2010) Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. *Journal of applied physiology* 110(3):619-626.
- White D y Gill J (2007) A “lost years” flatback turtle *Natator depressus* (Garman, 1858) found. *Northern Territory Naturalist* 19:51-53.
- Wilson P, Thums M, Pattiaratchi CB, et al. (2018) Artificial light disrupts the nearshore dispersal of neonate flatback turtles *Natator depressus*. *Marine Ecology Progress Series* 600:179-192.
- Wilson P, Thums M, Pattiaratchi CB, et al. (2019) High predation of marine turtle hatchlings near a coastal jetty. *Biological Conservation* 236(2019):571-579.
- Wiltschko W y Wiltschko R (1999) The effect of yellow and blue light on magnetic compass orientation in European robins, *Erithacus rubecula*. *Journal of Comparative Physiology A* 184:295-299.
- Winger BM, Weeks BC, Farnsworth A, et al. (2019) Nocturnal flight-calling behaviour predicts vulnerability to artificial light in migratory birds. *Proceedings of the Royal Society B*, 286(1900), pág. 20190364.
- Winter Y, López J y Helvesen O (2003) Ultraviolet vision in a bat. *Nature* 425: 612-614.
- Witherington BE (1992) Behavioural response of nesting sea turtles to artificial lighting. *Herpetologica* 48:31-39.
- Witherington B (1997) The problem of photopollution for sea turtles and other nocturnal animals. En: *Behavioral Approaches to Conservation in the Wild*, Clemmons JR y Buchholz R, eds. Cambridge University Press: Cambridge, pág. 303-328.
- Witherington BE y Bjorndal KA (1991) Influences of artificial lighting on the seaward orientation of hatchling loggerhead turtles *Caretta caretta*. *Biological Conservation* 55(2):139-149.
- Witherington B y Martin RE (2003) *Understanding, Assessing, and Resolving Light- Pollution Problems on Sea Turtle Nesting Beaches* Florida Fish and Wildlife Conservation Commission FMRI Technical Report TR-2: Jensen Beach, Florida. 84.
- Yoh N, Kingston T, McArthur E, et al. (2022) A machine learning framework to classify Southeast Asian echolocating bats. *Ecological Indicators* 136: 108696.

- Yong DL, Heim W, Chowdhury SU, et al., (2021) The State of Migratory Landbirds in the East Asian Flyway: Distributions, Threats, and Conservation Needs. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9:613172.
- Zhao X, Zhang M, Che X, et al. (2020) Blue light attracts nocturnally migrating birds. *The Condor* 122: 1-12.
- Zielinska-Dabkowska K y Xavia K (2019) Global approaches to reduce light pollution from media architecture and non-static, self-luminous LED displays for mixed-use urban developments. *Sustainability* 11: 3446.