



Australian Government
Department of the Environment and Energy



**Department of Biodiversity,
Conservation and Attractions**

Anexo a la Resolución 13.5

Directrices para la contaminación lumínica

Directrices nacionales sobre contaminación lumínica para la vida silvestre

*Incluidas las tortugas marinas, las aves marinas
y las aves costeras migratorias*

Enero de 2020

Versión 1.0



Menciones

El Departamento de Medio Ambiente y Energía (en adelante, el Departamento) desea transmitir su agradecimiento a aquellos que han contribuido a la elaboración de estas Directrices sobre contaminación lumínica.

La financiación para la elaboración de estas Directrices procede del Programa North West Shelf Flatback Conservation del Departamento de la Conservación de la Biodiversidad y Atracciones del Gobierno de Australia Occidental y de la Financiación de prioridades emergentes del Programa Nacional de Ciencias Ambientales del Gobierno (NESP) de Australia.

Estas Directrices se basan en el borrador escrito por Kellie Pendoley, Catherine Bell, Chris Surman y Jimmy Choi, con las aportaciones de Airam Rodríguez, Andre Chiaradia, Godfrey Bridger, Adam Carey, Adam Mitchell y Phillipa Wilson, Simon Balm, Steve Coyne, Dan Duriscoe, Peter Hick, Gillian Isoardi, Nigel Jackett, Andreas Jechow, Mike Salmon y Warren Tacey quienes generosamente otorgaron revisiones técnicas a las secciones de este documento.

El Departamento reconoce a los propietarios tradicionales del país de toda Australia y su continua conexión con la tierra, el mar y la comunidad. Presentamos nuestros respetos a estas personas y a su cultura, así como a sus ancianos (pasados y presentes).

© Derecho de autor Commonwealth de Australia, 2020



Las Directrices sobre contaminación lumínica tienen licencia de la Commonwealth de Australia para su uso bajo una licencia internacional 4.0 de atribución de Creative Commons con la excepción del escudo de la Commonwealth de Australia, el logotipo de la agencia responsable de la publicación del informe, el contenido facilitado por terceros y cualquier imagen que muestre a personas. Para consultar las condiciones de la licencia, visite: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Debe referirse a informe como las *Directrices nacionales sobre contaminación lumínica para la vida silvestre, incluidas las tortugas marinas, las aves marinas y las aves costeras migratorias, Commonwealth de Australia, 2020.*

La Commonwealth de Australia ha realizado todos los esfuerzos posibles para identificar el contenido facilitado por terceros mediante el siguiente formato: «© Derecho de autor, [nombre del tercero]».

Imágenes de la portada: Pez payaso: DSEWPaC; Eclosión de tortuga carey: Scott Whitting; Zarigüeya pigmea de montaña:- Linda Broom; Albatros de ceja negra: Alan Danks; Correlimos zarapitín: Brian Furby; Pardela patíclara:- Richard Freeman.

Índice

Directrices nacionales sobre contaminación lumínica.....	5
Introducción	5
Cómo usar estas Directrices	6
Consideraciones reglamentarias para la gestión de la luz artificial en torno a la vida silvestre	6
Luz artificial y vida silvestre.....	9
¿Cuándo considerar el impacto de la luz artificial en la vida silvestre?	12
Evaluación del impacto ambiental para los efectos de la luz artificial en la vida silvestre	16
Estudios de caso	21
Apéndice A – Mejores prácticas en el diseño de la iluminación.....	24
Objetivos de la iluminación	24
Principios de mejores prácticas en el diseño de la iluminación	25
<i>Modelos de diseño de iluminación listos para el uso.....</i>	28
Apéndice B – ¿Qué es la luz y cómo la perciben los animales silvestres?	30
¿Qué es la luz?.....	30
La visión en los animales.....	31
Factores que afectan a la percepción de la luz	33
Medición de la luz.....	36
Diodos emisores de luz (LED)	37
Apéndice C: Medición de la luz biológicamente relevante.....	40
Técnicas de medición radiométrica frente a la fotométrica.....	41
Técnicas de medición	43
Elaboración de modelos para la iluminación prevista.....	52
Apéndice D – Auditoría de la luz artificial.....	53
Guía fase por fase	53
Apéndice E – Lista de verificación de la gestión de la luz artificial.....	55
Apéndice F - Tortugas marinas	60
Estado de conservación.....	61
Distribución.....	61
Efectos de la luz artificial en las tortugas marinas.....	62
Evaluación del impacto ambiental de la luz artificial en las tortugas marinas	65
Conjunto de opciones de mitigación de la luz para las tortugas marinas.....	70
Apéndice G - Aves marinas	75
Estado de conservación.....	76
Distribución.....	76
Efectos de la luz artificial en las aves marinas	77

Evaluación del impacto ambiental de la luz artificial en las aves marinas	81
Conjunto de opciones de mitigación de la luz para las aves marinas.....	85
Apéndice H - Aves playeras migratorias	90
Estado de conservación.....	91
Distribución.....	91
Efectos de la luz artificial en las aves playeras migratorias	92
Evaluación del impacto ambiental de la luz artificial en las aves playeras migratorias	95
Conjunto de opciones de mitigación de la luz para las aves playeras migratorias.....	100
Glosario	104
Referencias.....	110

Nota de la Secretaría de la CMS:

Solo las Directrices, hasta la página 19, se han traducido y anexoado al Documento 26.4.9.1.
El documento completo se facilita en inglés como documento informativo.

Directrices nacionales sobre contaminación lumínica

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 año¹. 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 silvestre². Por ejemplo, las tortugas marinas recién eclosionadas pueden no encontrar el camino hacia el océano si las playas están iluminadas³, y las crías de aves costeras pueden no realizar su primer vuelo si su hábitat de anidación nunca se oscurece⁴. Se ha sabido que los ualabíes de Tammar expuestos a luz artificial retrasan su reproducción⁵ y que los huevos de pez payaso incubados bajo luz constante no eclosionan⁶.

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. No es posible establecer límites preceptivos a la iluminación. En cambio, estas Directrices 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.

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 esa influencia. 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 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](#) incluidas en las listas que, 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](#) y las [aves costeras migratorias](#). 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 ofrecen información técnica que sirve de orientación para la gestión de la luz artificial para las especies migratorias y amenazadas recogidas en la *Ley de Protección del Medio Ambiente y Conservación de la Biodiversidad (1999)* (ley PMACB), las especies que formen parte de una comunidad ecológica registrada y las especies protegidas bajo la legislación territorial o estatal cuyo comportamiento, supervivencia y reproducción, como se ha demostrado, se ven afectados por la luz artificial.

Ley de Protección de Medio Ambiente y Conservación de la Biodiversidad (1999)

La ley PMACB regula toda acción que tendrá, o probablemente tenga, un impacto significativo en un asunto nacional de importancia ambiental (ANIA), incluidas las especies migratorias y amenazadas listadas. Toda acción que probablemente tenga un impacto significativo en un ANIA debería comunicarse al Gobierno de Australia para su evaluación. Asimismo, las acciones de matar, dañar o capturar especies marinas, migratorias o amenazadas que figuren en las listas dentro del área de la Commonwealth, así como comercializar con estas, se consideran delito conforme a la ley PMACB. Si una persona duda sobre la aplicación de la ley PMACB, se recomienda encarecidamente que busque [información adicional](#).

Política y legislación territorial y estatal

Los marcos jurídicos y legislativos territoriales y estatales sobre medio ambiente pueden incluir también disposiciones para la gestión de amenazas, como la luz, para especies protegidas. Por ejemplo, la luz artificial es una forma de contaminación regulada para los impactos sobre los humanos y el medio ambiente en virtud de la *Ley de Protección del Medio Ambiente de 1997* del Territorio de la Capital de Australia. Debería tenerse en cuenta la función de la política y la legislación territorial y estatal relevantes de planificación y medio ambiente relativas a la protección de la vida silvestre contra la luz artificial.

Requisitos gubernamentales regionales y locales

Asimismo, se debería solicitar asesoramiento al gobierno local acerca de si se aplican determinados requisitos en el área de interés con respecto a la luz artificial y la vida silvestre. Por ejemplo, el [Código de zonas sensibles para las tortugas marinas del Gobierno de Queensland](#) prevé que los gobiernos locales identifiquen las zonas sensibles para las tortugas marinas dentro de los esquemas de planificación del gobierno local. El desarrollo en estas zonas deberá evitar los efectos adversos de la luz artificial sobre las tortugas marinas.

Normativa australiana

La normativa australiana incluye límites acordados para diferentes escenarios de iluminación, generalmente a efectos de seguridad humana y prestación de servicios. Por ejemplo, la norma australiana DR AS/NZS 1158.3.1:2018 sobre *Iluminación para carreteras y espacios públicos e iluminación de zonas peatonales (Categoría P)* incluye las normativas de diseño y rendimiento de luz mínimas para las zonas peatonales.

La normativa australiana también incluye la consideración de problemas ambientales. La norma australiana AS/NZS 4282:2019, *Control de los efectos incisivos de la iluminación de exterior*, reconoce el impacto de la luz artificial sobre la biota.

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. Los [estudios de casos](#) ilustran ejemplos de cómo una planta de procesamiento de gas natural licuado, un organismo de transporte y una embarcación de investigación marina han abordado este reto.

Orientación asociada

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

- [Directrices de impacto significativo 1.1: Asuntos nacionales de importancia ambiental, en virtud de la ley PMACB de 1999](#)
- [Directrices de impacto significativo 1.2: Acciones sobre, o que impactan en, el territorio de la Commonwealth y acciones de los organismos de la Commonwealth;](#)
- Acciones de Recuperación y asesoramiento aprobado en materia de conservación para especies amenazadas listadas
- Acciones de conservación de la vida silvestre para especies migratorias listadas
- Documentos orientativos y de políticas, reglamentos y legislación estatales y territoriales sobre medio ambiente
- 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 comuniquen⁷. 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 onda⁹ y algunas serpientes, por ejemplo, pueden detectar longitudes de onda infrarrojas⁹ (Figura 2). 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 la vida silvestre.

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.

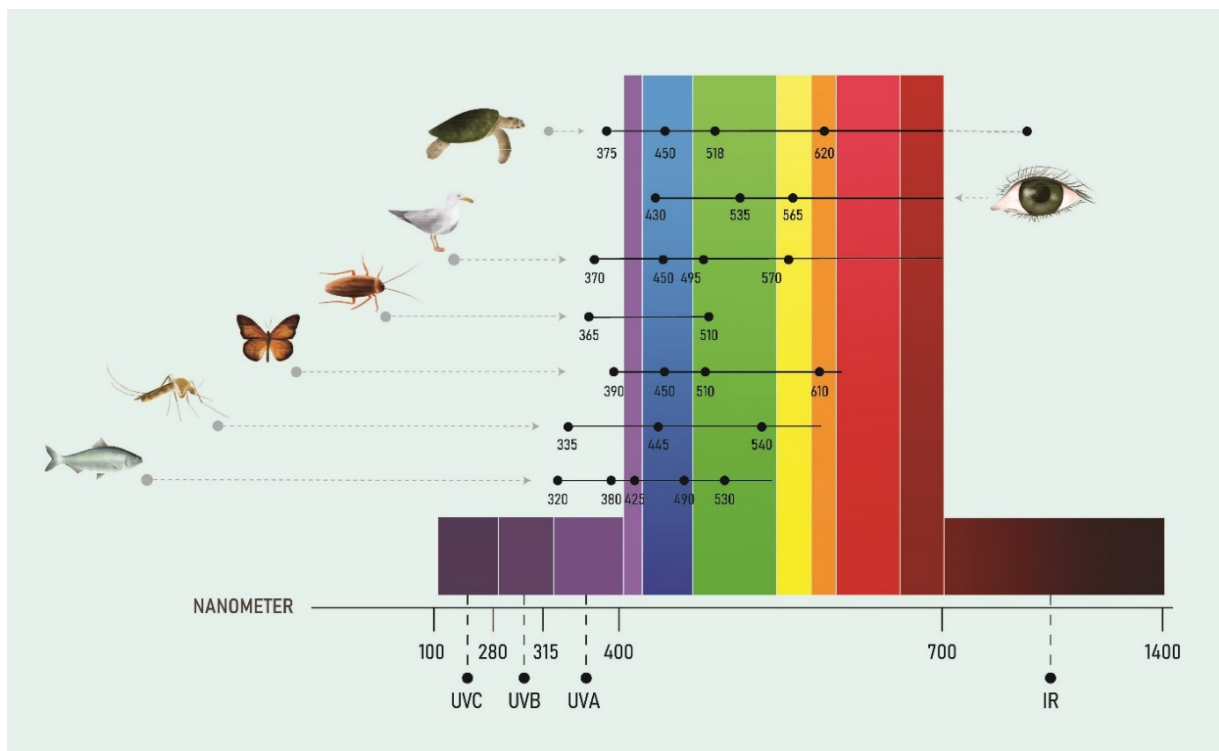


Figura 2. La habilidad de percibir diferentes longitudes de onda de luz en humanos y en animales silvestres se muestra en la línea horizontal. Los puntos negros muestran los puntos máximos de sensibilidad. © Pendoley Environmental, adaptado de Campos (2017)¹⁰.

Cómo afecta la luz a la vida silvestre

Se sabe que la luz artificial afecta negativamente a muchas especies^{2,11} y comunidades ecológicas^{12,13}. 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 listadas.

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 brillante¹⁴, 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 cielo³. 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 infraestructuras¹⁵. 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 oscurecen⁴. 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 noche⁴.

Se han descrito cambios fisiológicos en los Ualabíes de Tammar cuando están expuestos a luz artificial, que resultan en una reproducción retrasada⁵, y se sabe que los huevos de pez payaso incubados bajo luz constante no eclosionan⁶. 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 descendencia¹⁸. 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. Esto, a su vez, puede tener efectos derivados para los polinizadores y los herbívoros¹³.

Los efectos indirectos de la luz artificial también pueden ser perjudiciales para especies amenazadas. La zarigüeya pigmea de montaña, por ejemplo, se alimenta principalmente de la polilla Bogong, una especie nocturna que migra grandes distancias y a la que atrae la luz¹⁶. Los recientes descensos en las poblaciones de polillas, en parte debido a la luz artificial, han reducido el suministro de alimentos para esta zarigüeya¹⁷. Los cambios en la disponibilidad de alimento debido a la luz artificial afectan a otros animales, como los murciélagos¹⁸, y pueden provocar cambios en las comunidades de peces¹⁹. La luz también puede atraer a plagas invasoras, como el sapo gigante²⁰, o a depredadores, lo cual aumenta la presión sobre las especies protegidas²¹.

El modo en que la luz afecta a una especie listada 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](#) en los apéndices técnicos. Debería prestarse atención al efecto directo e indirecto de la luz artificial en todas las especies listadas cuyo comportamiento, supervivencia y reproducción, como se ha demostrado, se ven afectados negativamente por este tipo de luz.

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.

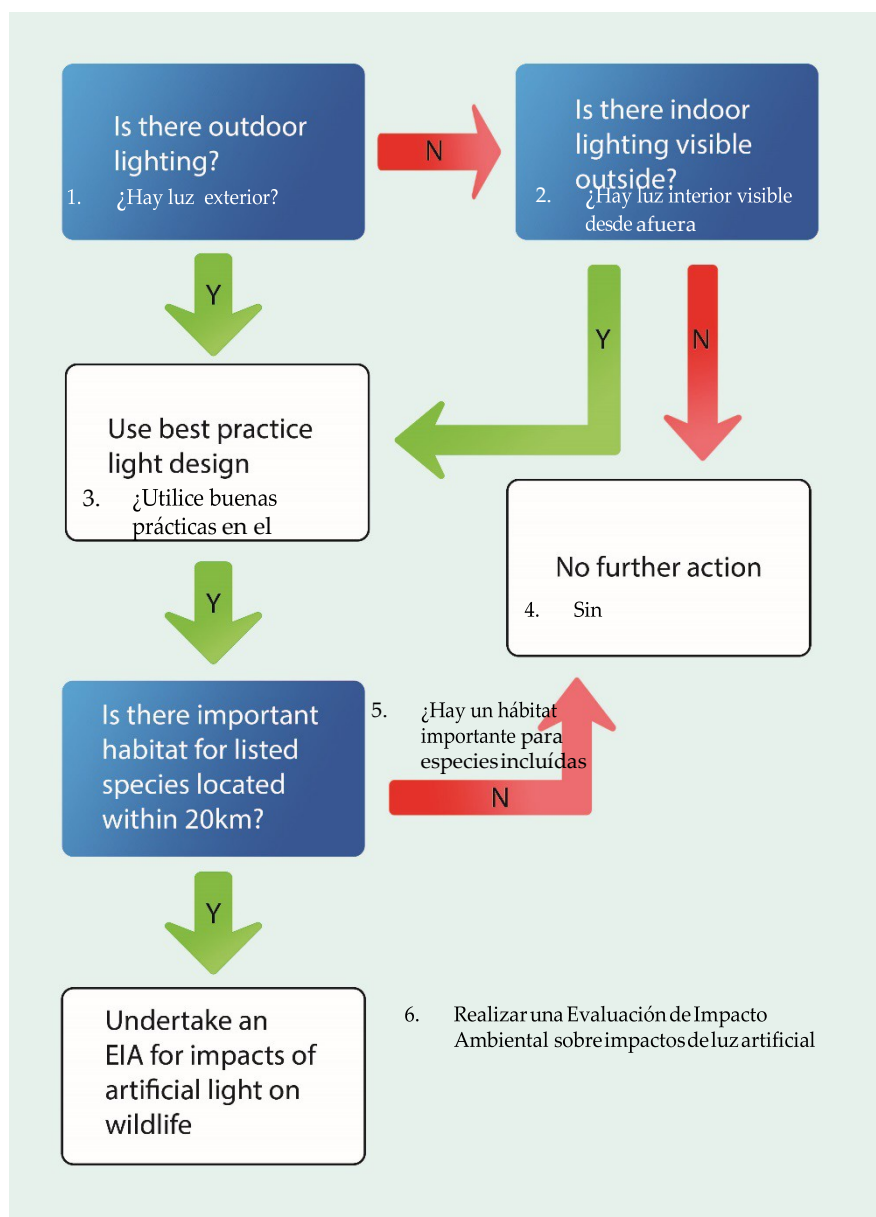


Figura 3. Árbol de decisiones para determinar si se debe realizar una evaluación del impacto ambiental causado por la luz artificial en la vida silvestre© Pendoley Environmental.

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.**

La 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](#).

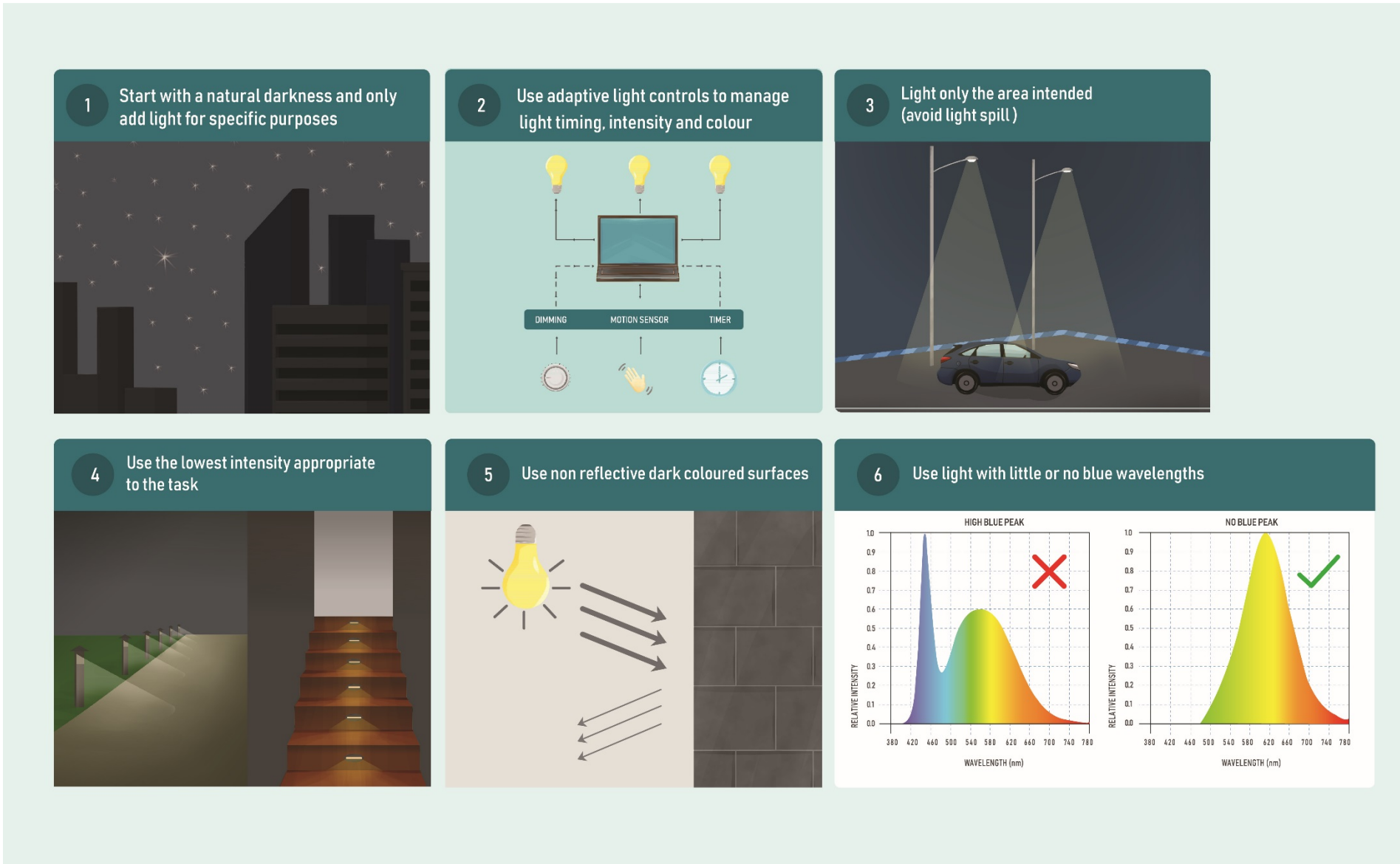


Figura 4. Principios para el diseño de iluminación recomendado. © Pendoley Environmental.

¿Existen hábitats importantes para especies listadas en un radio de 20 km?

Los hábitats importantes son aquellas zonas necesarias para que una proporción significativa a nivel ecológico de una especie listada 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 constituir un hábitat en el que la presencia de la contaminación lumínica pueda causar un descenso significativo de una especie migratoria o amenazada listada.

El hábitat importante variará dependiendo de las especies. Para algunas especies, las zonas de importancia se han asignado mediante acciones de recuperación, asesoramiento en materia de conservación y respondiendo a reglamentos de planificación (por ejemplo, las [zonas sensibles para las tortugas marinas de Queensland](#)). Los hábitats importantes incluirían las zonas que son compatibles con las definiciones de «hábitat fundamental para la supervivencia» de una especie amenazada y «hábitat importante» para especies migratorias listadas como se describe en las [Directrices de impacto significativo de la ley PMACB](#)²². Los hábitats importantes pueden incluir zonas designadas como [zonas biológicamente importantes](#) (ZBI) o, en el caso de las aves costeras migratorias, hábitats importantes a nivel nacional o a nivel internacional. Se deberían tener en cuenta las características ecológicas de los sitios Ramsar y los valores ecológicos y biológicos de las áreas de Patrimonio Mundial y Nacional.

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](#). Para otras especies listadas, consulte la información pertinente disponible en los apartados [Orientación asociada](#) y [Estudio documental sobre la vida silvestre](#).

Donde exista hábitat importante para especies listadas 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 cauteloso 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^{23,24} y la permanencia en el suelo de crías de aves costeras en respuesta a la luz artificial a una distancia de 15 km²⁵. 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.

Es probable que el efecto de la luz artificial existente sobre la vida silvestre sea 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. 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 luz 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](#) aportan consideraciones específicas para cada uno de estos taxones. No obstante, el proceso debería adoptarse para otras especies protegidas 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.

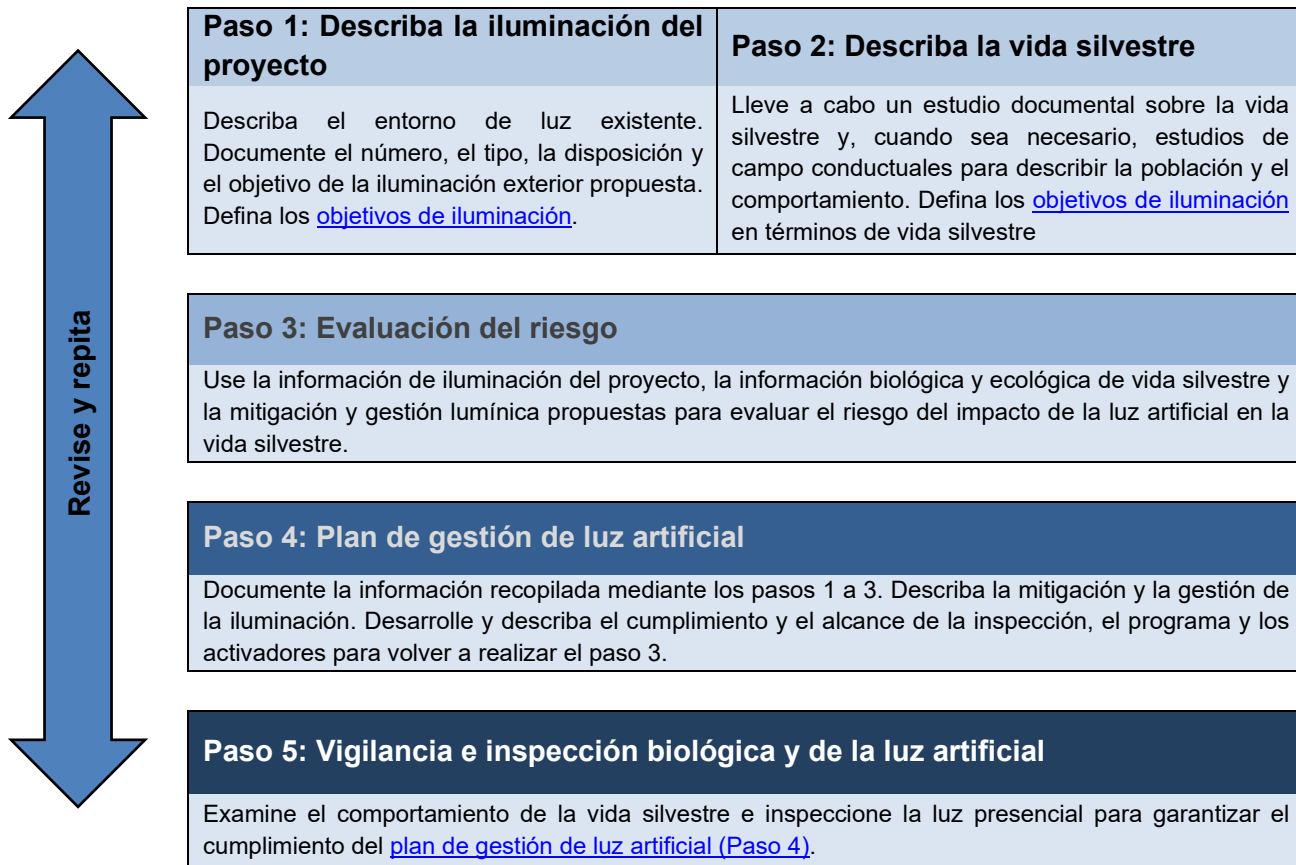


Figura 5. Diagrama que describe el proceso de evaluación de impacto ambiental.

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

Con el objetivo de determinar si pudiera estar presente vida silvestre protegida o listada susceptible a los efectos de la luz artificial, se debería llevar a cabo una revisión de las bases de datos gubernamentales disponibles, la documentación científica e informes no publicados. Entre las herramientas para identificar especies o hábitats importantes que pueden existir en un radio de 20 km de la zona de interés se incluyen:

- [Herramienta de búsqueda de asuntos protegidos](#)
- [Atlas de valores de conservación nacional](#)
- Información sobre especies protegidas a nivel estatal y territorial
- Documentación científica
- Conocimiento indígena y local

Para evaluar el riesgo que puede correr la especie, se debería considerar la comprensión de la susceptibilidad del animal 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. Asimismo, 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), 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.

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](#) y [Aves costeras migratorias](#) 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 sobre gestión de riesgo de la normativa australiana (AS ISO 31000:2018)* (o las sustitutas equivalentes), que prevén la gestión adaptativa y la mejora continua. 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 debería recomendar la evaluación del proyecto bajo la ley PMACB o la legislación territorial o estatal aplicable.

Paso 4: Plan de gestión de luz 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 luz 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 luz 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](#) y [Aves costeras migratorias](#) 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 realizarse 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](#) y [Aves costeras migratorias](#).

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 kikkilas²⁶.

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*²⁷.

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 fotovoltáicos 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.

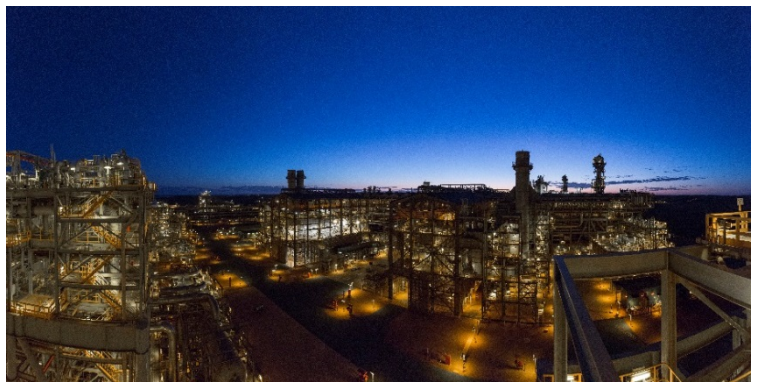


Figura 6. Planta de gas natural licuado en la isla Barrow Fotografía: Chevron Australia.

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*²⁷ prevé la evaluación de riesgo continuado del impacto de la luz artificial en la anidación de las tortugas kikalas 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.

Isla Phillip

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 especie²⁵. 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 atropellados⁴ (Figura 7).

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 madrigueras²⁵.

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 tierra²⁵. 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 cría²⁸. 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^{28,29}. 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 pardelas²⁵.



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 anidación³⁰ 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*.

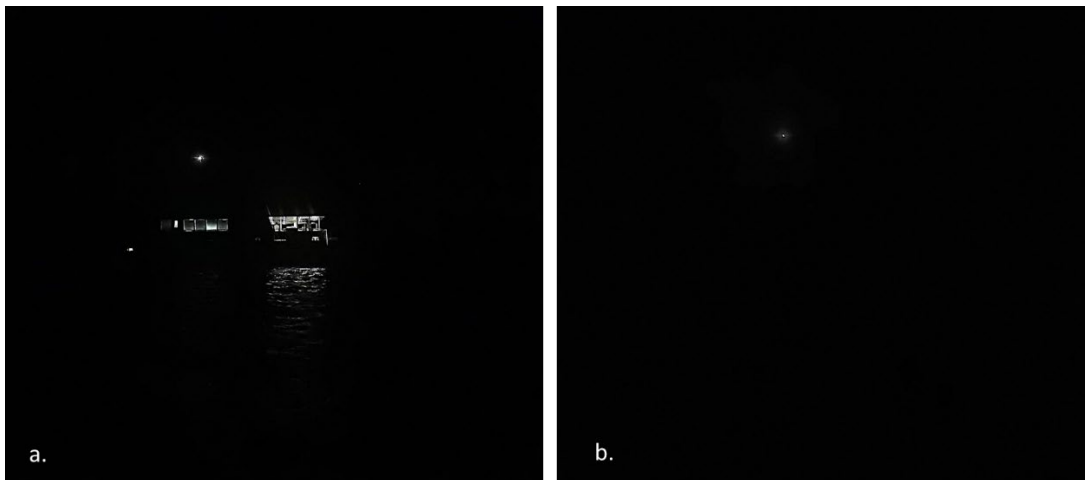


Figura 8. Gestión de iluminación de la embarcación en la isla Raine. A. Embarcación con luces de cubierta, persianas venecianas bajadas y luz de ancla encendida. B. Embarcación con las luces exteriores apagadas y persianas que bloquean la luz instaladas (téngase en cuenta que la luz de ancla es un requisito marítimo de seguridad). Fotografía: Servicio de Vida Silvestre y Parques de Queensland.

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 con longitudes de onda azul, violeta y ultravioleta reducidas o filtradas.**

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. 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 australianas 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.

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.

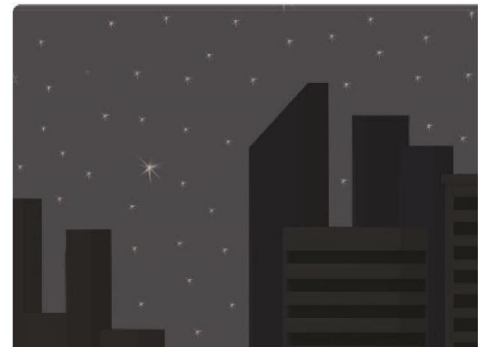
A continuación se formulan los principios generales aplicables a la iluminación, que beneficiarán al medio ambiente y a la fauna silvestre local, y reducirán los gastos de energía.

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.

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 suele 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

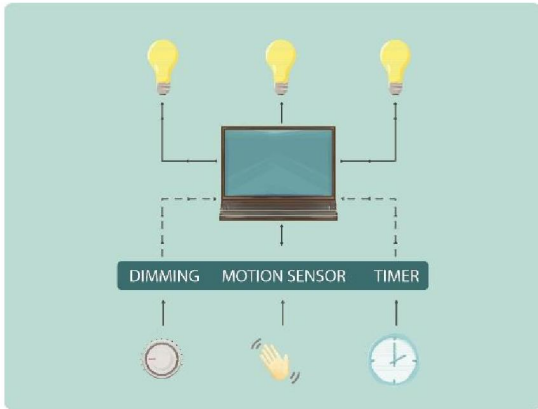


Figura 10 Utilizar controles adaptativos para la gestión del tiempo de iluminación, y la intensidad y el color de la luz.

controles inteligentes y la tecnología LED permiten las siguientes operaciones:

- gestión remota de las luces (controles por medios informáticos)
- encendido y apagado instantáneos de las luces
- control del color de la luz (tecnología nueva)
- atenuación, temporizadores, frecuencia de parpadeo, sensores de movimiento, directividad luminosa bien definida.

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.

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.

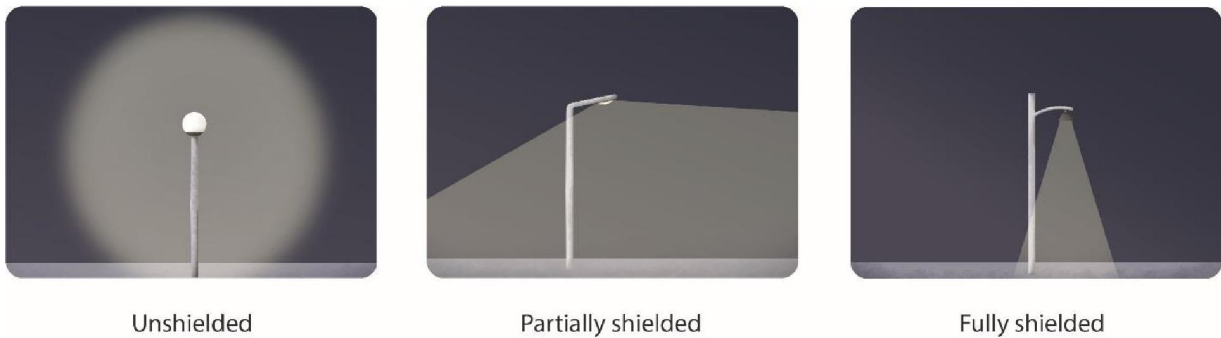


Figura 11 Las luces deberán apantallarse para evitar que se ilumine cualquier cosa que no sea el área o el objeto a que se destina la iluminación. Figura adaptada de Witherington y Martin (2003)³.

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).

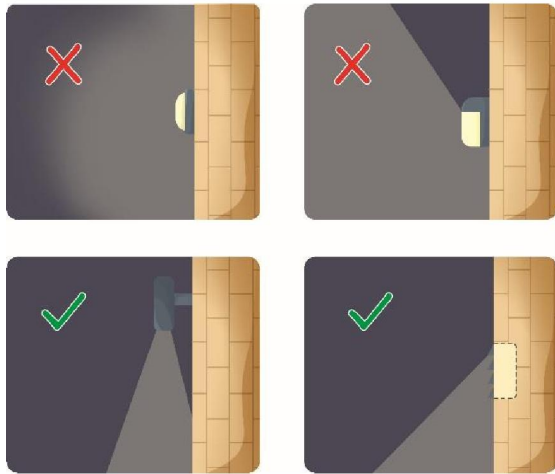


Figura 13 La iluminación deberá estar dirigida de forma que quede iluminada solo el área a la que se destina la iluminación. Figura adaptada de Witherington y Martín (2003)³.

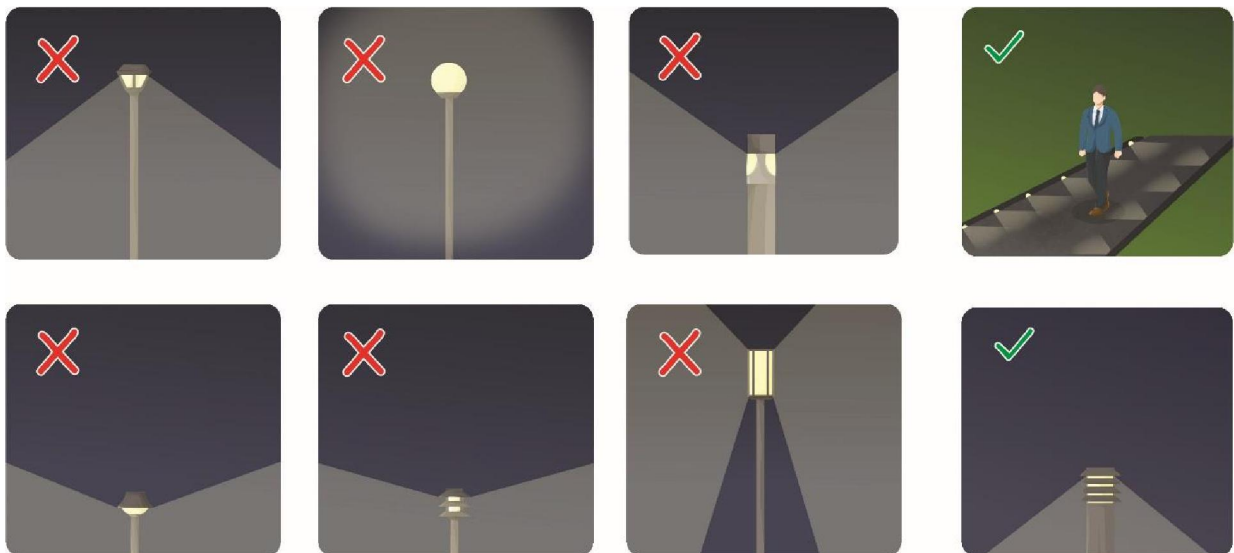


Figura 12 La iluminación de la pasarela deberá instalarse a una altura lo más baja posible y apantallada. Figura adaptada de Witherington y Martín (2003)³.

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 difusor 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.

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, y el uso de vidrios en ventanas y balcones con reducidos valores de transmitancia de luz visible.

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.

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 recomienden 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

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



Figura 15 Utilizar superficies de colores oscuros no reflectantes.

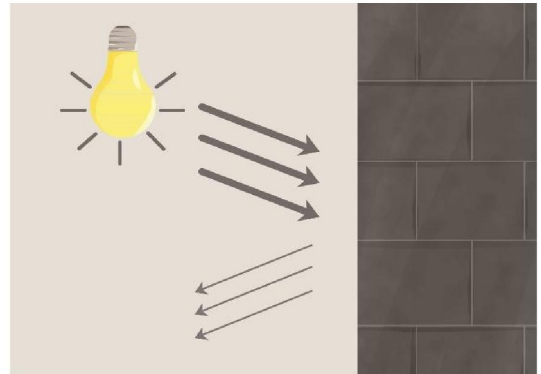
Los avances tecnológicos ofrecen técnicas de computadora, como la detección de intrusos por rayos infrarrojos en zonas de seguridad, que probablemente proporcionan resultados de mejores tasas de detección que un observador humano que realiza el seguimiento de una zona iluminada.

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.

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. En el [Plan de gestión de la luz artificial](#) deberá figurar el color de la pintura o material seleccionado.



6. Utilizar luces con longitudes de onda azul, violeta y ultravioleta reducidas o filtradas

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 (400 - 500 nm) longitud de onda o ninguna de ellas para evitar efectos no deseados. Cuando la fauna silvestre 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 (curva de distribución de la potencia espectral) de la iluminación para asegurar que se reduzca al mínimo la luz de longitud de onda corta (400 - 500 nm).

Apéndice B – ¿Qué es la luz y cómo la perciben los animales silvestres?

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.

¿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 luz visible 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).

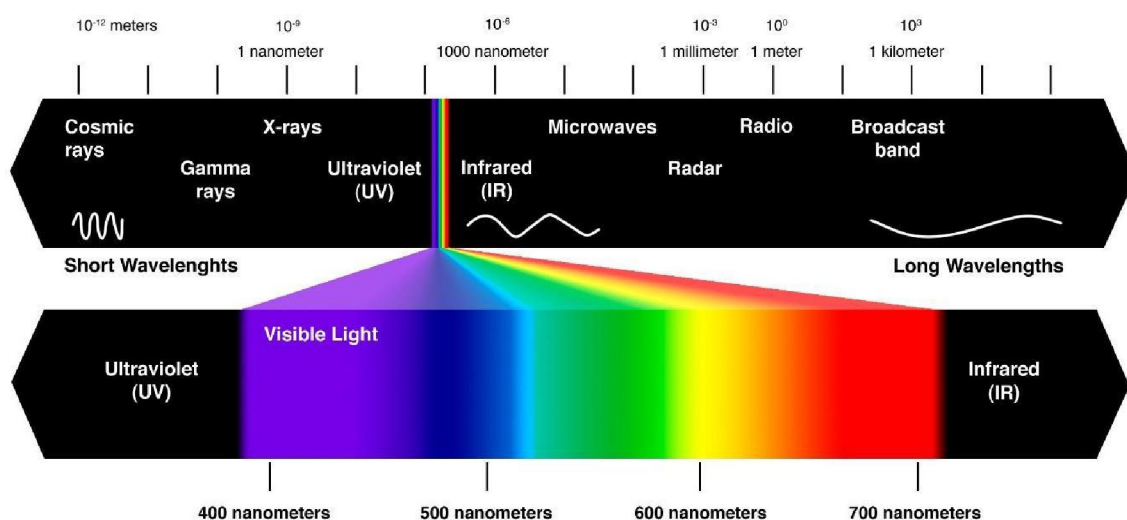


Figura 16 El espectro electromagnético. El “espectro de luz visible” ocurre en el intervalo 380-780 nm y es la parte del espectro que el ojo humano puede ver. Crédito: Mihail Pernichev³⁴.

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
- alteración de los ciclos circadianos en la vegetación, los animales y los seres humanos^{2,13,36}
- cambios en la orientación, la alimentación o el comportamiento migratorio de los animales^{19,37-39}.

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. 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.

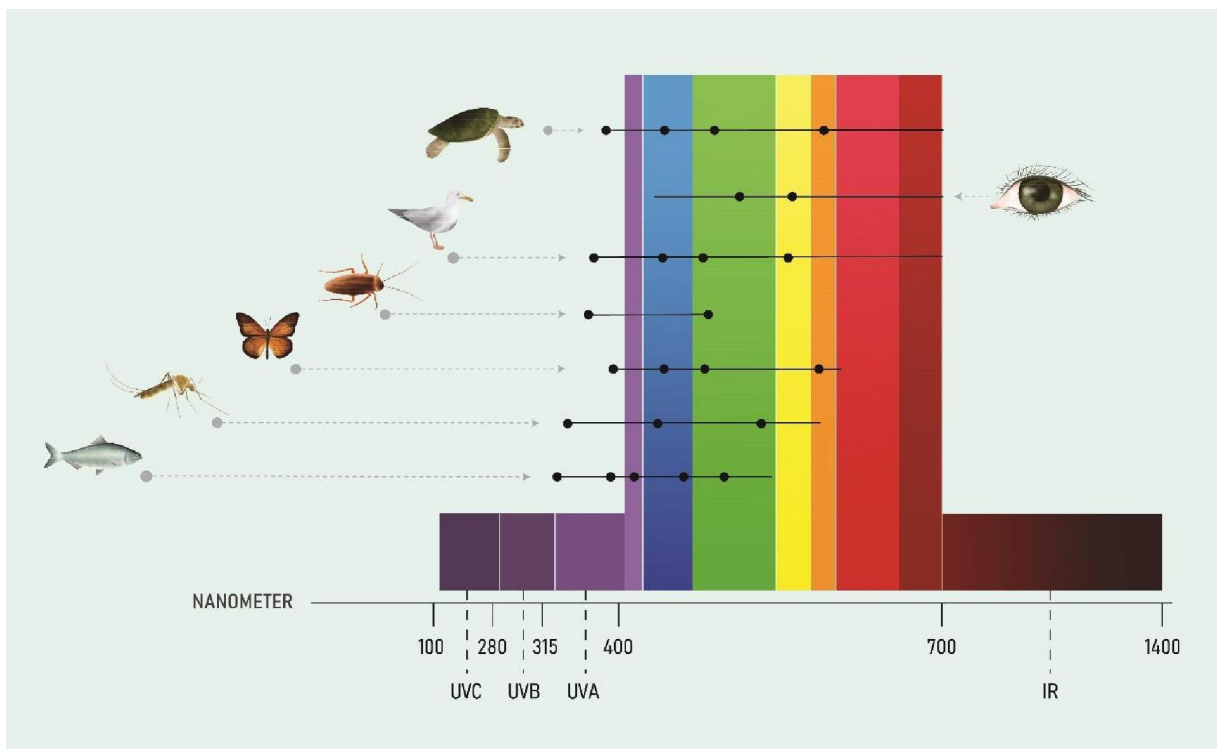


Figura 17. La capacidad de percibir diferentes longitudes de onda de luz en los seres humanos y los animales silvestres se muestra mediante las línea horizontales. Los puntos negros representan los niveles máximos de sensibilidad notificados. Obsérvese la sensibilidad común a la luz de longitud de onda 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. 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 pueden 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. Estas células son particularmente sensibles a la luz azul⁴². 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, el comportamiento de búsqueda e ingestión de los alimentos⁴⁴ 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.

Factores que afectan a la percepción de la luz

Entre los factores que afectan a la percepción de la luz se incluyen: el tipo de receptor de la luz (visión fotópica o visión escotópica); si la luz se ve directamente 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.

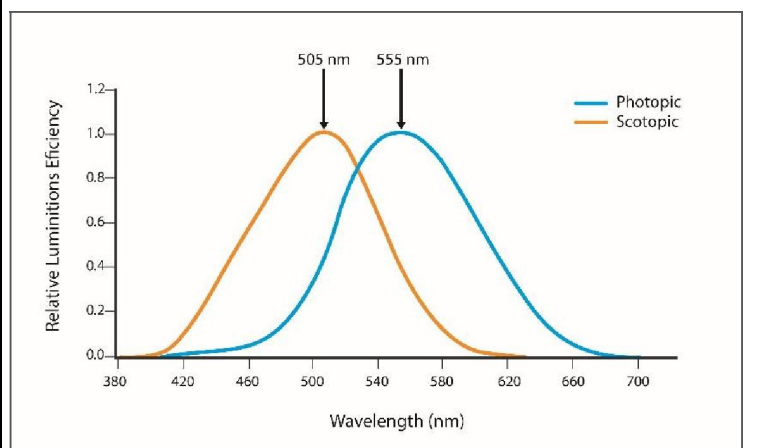


Figura 18 Funciones de la luminosidad escotópica y fotópica en los seres humanos. Fuente de datos: [Funciones de la luminosidad.](#)

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.

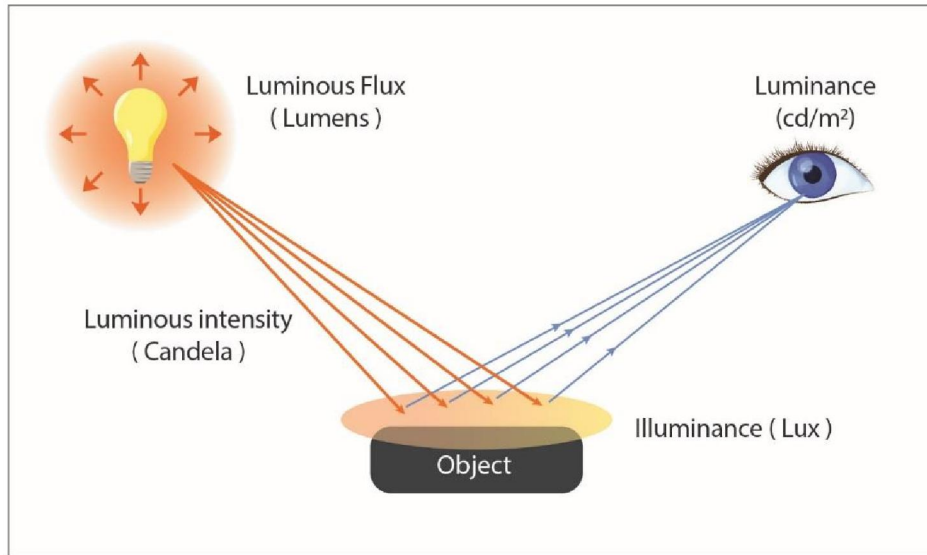


Figura 19 Flujo luminoso, luminancia e iluminancia.

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.

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. 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.

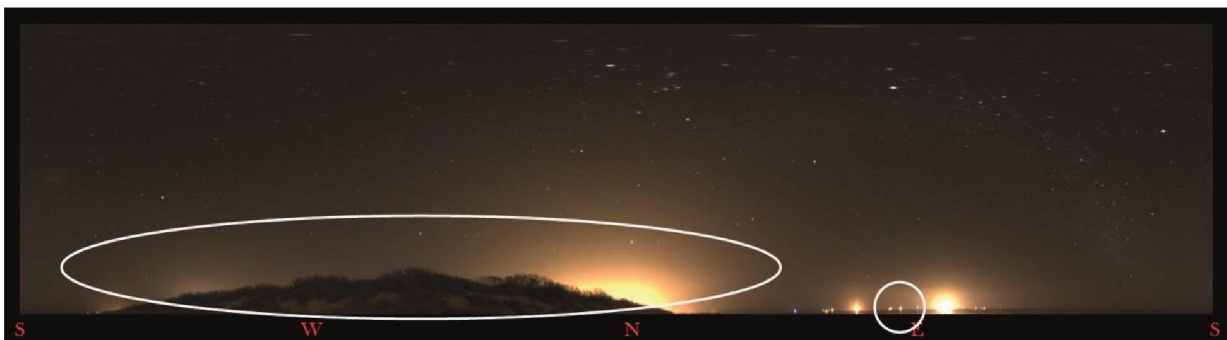


Figura 20 Resplandor del cielo creado por luces protegidas por una pantalla de vegetación (en el círculo a la izquierda) y fuentes puntuales de luz directamente visibles (en el círculo a la derecha).

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.

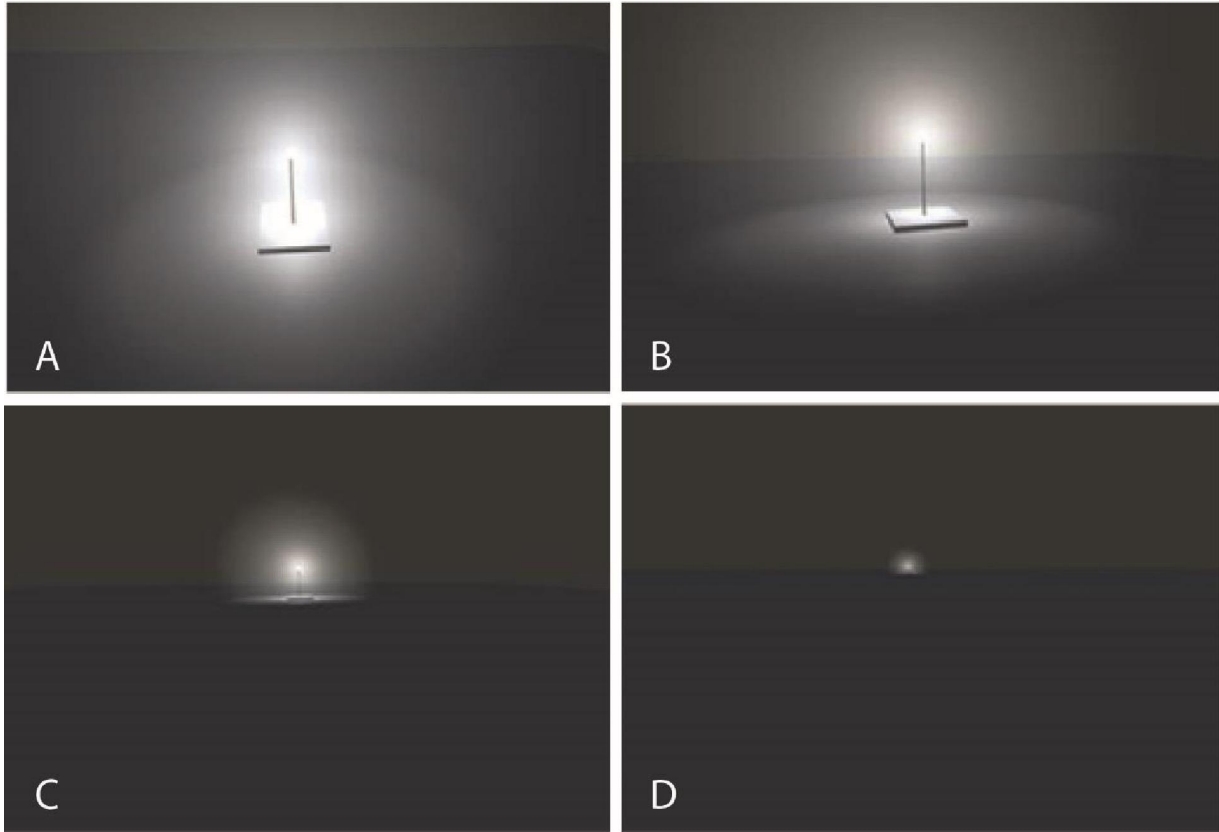


Figura 21 Cambios modelados en la visibilidad de una luz LED blanca de 1000 W sin apantallamiento visto desde A. 10 m; B. 100 m; C. 1 km y D 3 km.

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 la Commission International de l'Eclairage (CIE), pero esta área no incluye toda la luz visible para la fauna silvestre (Figura 22).

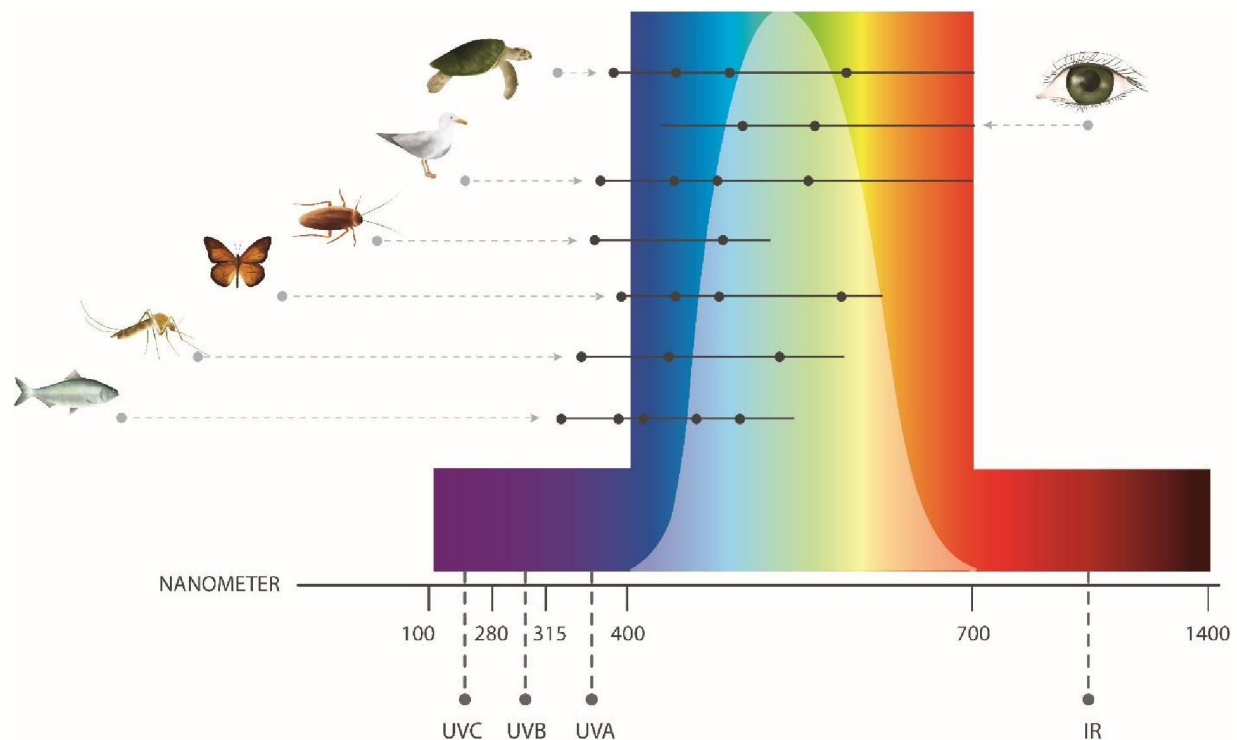


Figura 22 Luz fotométrica representada por el área comprendida bajo la curva CIE (área clara) en comparación con la capacidad de percibir diferentes longitudes de onda (líneas negras) y la sensibilidad máxima notificada (puntos negros) en los seres humanos y la fauna silvestre. Téngase en cuenta que 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.

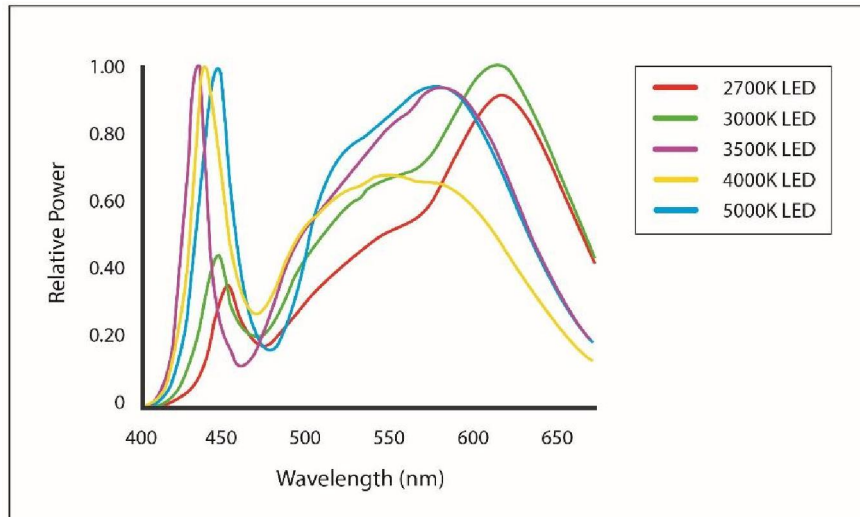


Figura 23 Curvas espectrales que muestran el contenido de azul de la luz blanca 2700-5000 K

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 solo 10 vatios de energía para una lámpara LED. 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. En consecuencia, es importante no sustituir una lámpara de estilo antiguo con un LED de vataje equivalente.

- 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](#)).
- La tecnología LED permite una gestión del color rojo-verde-azul (RVA) ajustable. Puede permitir una gestión, específica según la especie, de longitudes de onda problemáticas (p. ej., el azul para la mayor parte de la fauna silvestre, pero también el amarillo/naranja).

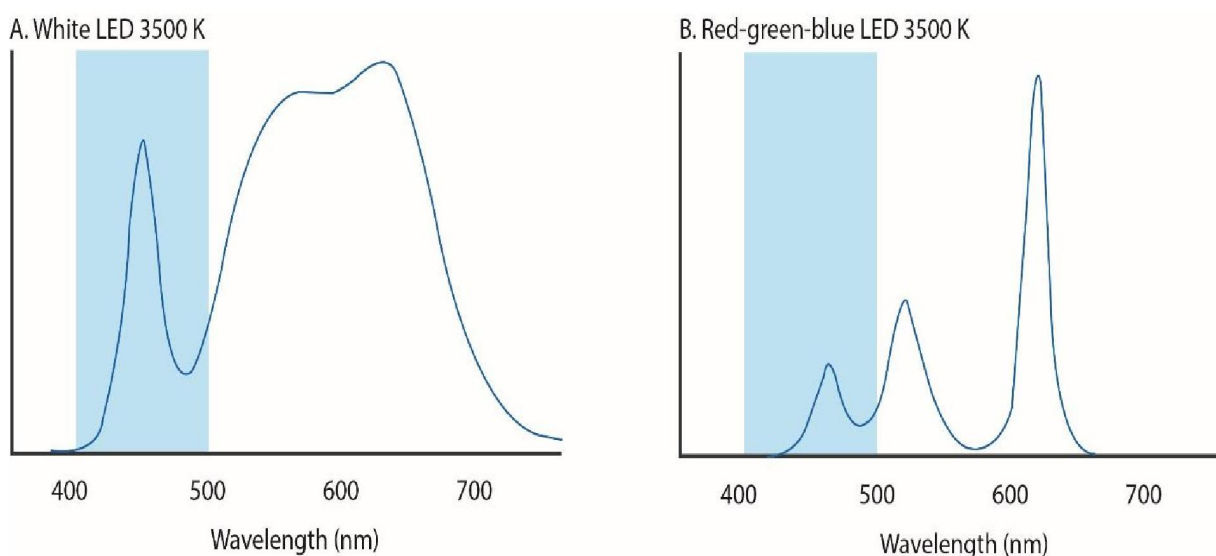


Figura 24 Una comparación del contenido espectral de longitud de onda azul de dos luces LED con la misma CCT (3500k). La banda azul muestra la región azul del espectro visible (400-500 nm). La luz en A tiene un contenido de luz azul mucho mayor que en B, pero los dos parecen tener el mismo color para 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 luz LED blanca. 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).

La temperatura de color correlacionada no proporciona información sobre el contenido de azul de una lámpara. Todos 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 deberán utilizarse luces LED con poca o ninguna luz en el punto de sensibilidad máxima⁴⁷.

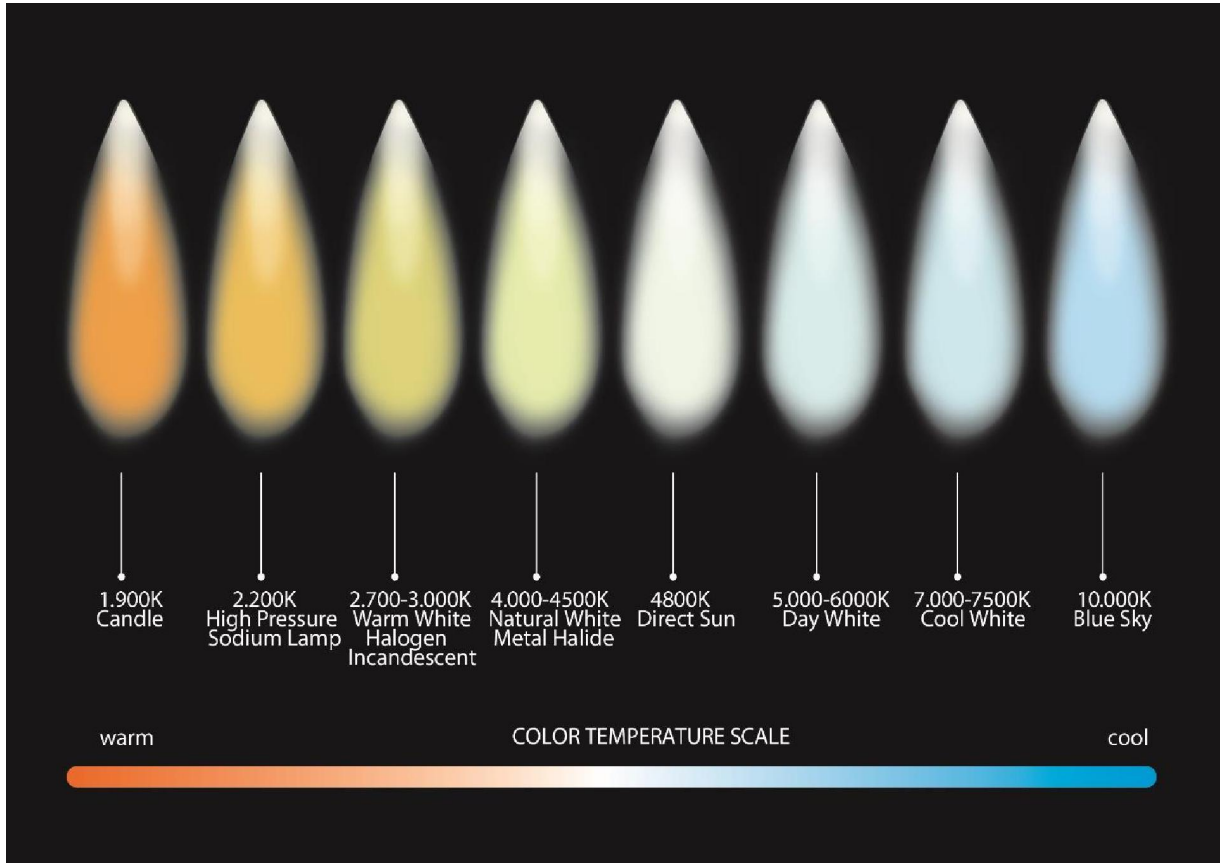


Figura 25 Gama de temperatura de color correlacionada (CCT) de cálida 1,000 K a fría 10,000 K.

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.

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**

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.

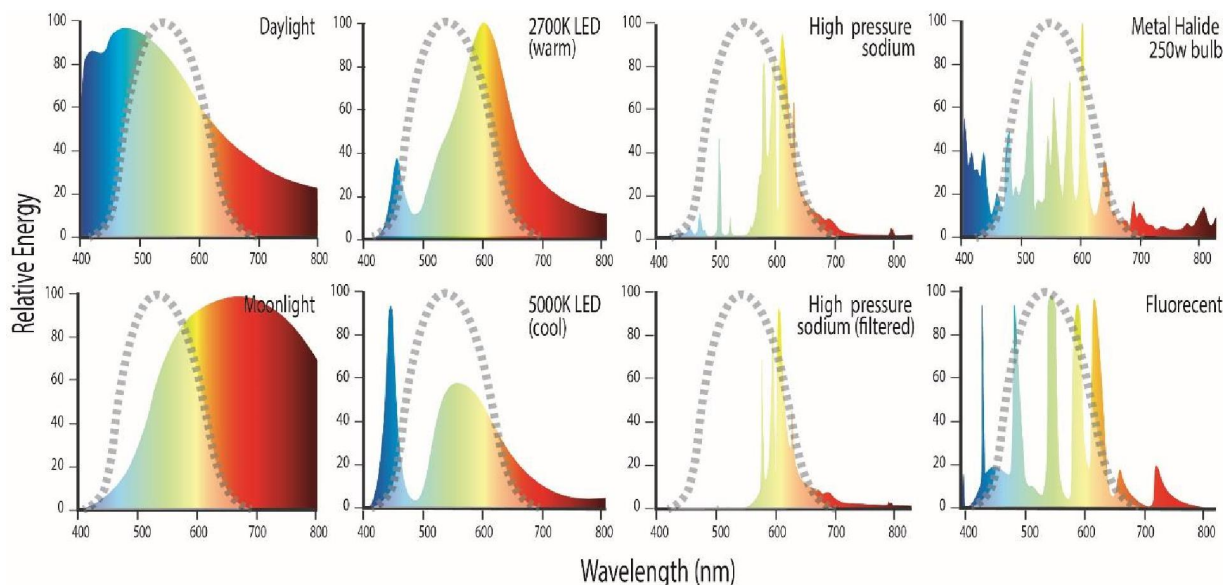


Figura 26 Los instrumentos fotométricos solo cuantifican la luz que se encuentra dentro de la curva CIE (área contenida por debajo de la línea discontinua gris). Se trata de una figura comparativa de curvas espectrales de una variedad de diferentes fuentes de luz.

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, 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 o un humedal.

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 una 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, el albedo 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.

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. 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 desplegables 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. 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 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}. 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)
- la imaginería calibrada (numérica y de imágenes) de todo el cielo
- 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. Se indican a continuación algunos ejemplos:

- [El Nuevo Atlas mundial del resplandor artificial del cielo nocturno](#)
- [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. 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. Si las mediciones varían en más de 0,2 mag/arcsec², 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. 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.

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 fotométrica. Los luxómetros miden la luz que incide sobre una superficie y los medidores de luminancia miden la luz incidente desde un ángulo sólido específico.

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.

Imágenes calibradas de todo el cielo

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 (gran 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. 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. 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}.

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.

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.

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*	Imágenes + val. núm.	Banda única	Paisaje	No	Sí	Mod-alta	Algunos conjuntos de datos son gratuitos
<i>Unidimensional:</i> Medidor de la calidad del cielo (SQM)	$\text{mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$	Sí	Val. num.	Banda única	Cielo sobre la cabeza	No [§]	Sí	Mod	< \$300
Medidor de cielo oscuro (iPhone)	$\sim \text{mag}_{\text{SQM}}/\text{arcsec}^2$	Sí	Val. num.	Banda única	Cielo sobre la cabeza	No	Sí	Baja	\$0
Luxómetro	lux	No	Val. num.	Banda única	Metros	No	Sí	Baja	< \$300
<i>Bidimensional:</i> ASTMON	$\text{mag}_v/\text{arcsec}^2$	Sí	Imagen + val. núm.	Rueda de filtro multibanda	Todo el cielo	Req. calibración.	No	Alta	>\$15,000
DSLR + ojo de pez	$\sim \text{cd}/\text{m}^2, \sim \text{mag}_v/\text{arcsec}^2$	Sí	Imagen + val. núm.	RVA de multibanda	Todo el cielo	Req. calibración.	Sí	Mod-alta	>\$2,500
Mosaico de todo el cielo	$\text{cd}/\text{m}^2, \sim \text{mag}_v/\text{arcsec}^2$	Sí	Imagen + val. núm.	Banda única	Todo el cielo	Req. calibración.	No	Alta	~ \$20,000
<i>Espectroradiometría:</i> SAND [¥]	$\text{W}/(\text{m}^2\text{nm sr})$	Sí	Curva de potencia espectral	Hiperespectral multibanda	Paisaje	Sí	No	Mod-alta	\$7,000

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 en rápido mejoramiento⁴⁹.

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 luz 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 luz 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 luz 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 incluidas en las listas 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 incluidas en las listas?	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

Aspecto que se ha de examinar	Propietario o gestor de la luz	Reglamentación	Información adicional
<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
¿Muestra la fauna silvestre algún cambio en la supervivencia, el comportamiento o la reproducción que se pueda atribuir a la luz artificial?	¿Qué especies incluidas en la lista 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?	¿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	Describir la fauna silvestre Fauna silvestre y luz artificial Consideraciones reglamentarias para la gestión de la luz Asesoramiento de expertos sobre las especies
¿Constituye la iluminación utilizada en el área la mejor práctica?	¿Podrían realizarse modificaciones o actualizaciones tecnológicas para mejorar la gestión de la luz artificial?	¿Hay propietarios o gestores de la iluminación a quienes se puedan contactar para modificar la iluminación actual?	Principios de mejores prácticas en el diseño de la iluminación
¿Afecta a la fauna silvestre la luz de una sola fuente o de múltiples fuentes?	¿Son múltiples las partes interesadas que deberán unirse para abordar la contaminación lumínica acumulativa?	¿Tiene el gobierno una función que desempeñar para facilitar la colaboración entre propietarios y gestores de la iluminación para abordar la contaminación lumínica?	Gestión de la contaminación lumínica existente Plan de gestión de la luz
¿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?	¿Cuánta luz se emite desde mi propiedad y está afectando a la fauna silvestre?	Facilitar el seguimiento biológico de la fauna silvestre.	Estudios de campo relacionados con la fauna silvestre Medición de la luz biológicamente relevante Asesoramiento de expertos sobre las especies

¿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 del norte de Australia. 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.

En Australia se encuentran seis especies de tortugas marinas: la tortuga verde (*Chelonia mydas*), la tortuga boba (*Caretta caretta*), la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*), la tortuga plana (*Natator depressus*) y la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*).

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 en Australia 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). En Australia, la Ley de Protección del Medio Ambiente y Conservación de la Biodiversidad de 1999 (Ley EPBC) da efectividad a estas obligaciones internacionales.

Las seis especies están incluidas en la Ley EPBC como especies migratorias y marinas amenazadas. Están protegidas también por la legislación estatal y territorial.

En el *Plan de Recuperación de Tortugas Marinas en Australia* (2017) se indican las amenazas a las tortugas marinas y las medidas necesarias para recuperar estas especies⁵⁷. A fin de asegurar el mantenimiento de la biodiversidad, en el Plan se considera a las tortugas marinas en función de sus reservas genéticas más que a nivel de especie. En el Plan se observó que la contaminación lumínica es una amenaza de alto riesgo para cinco de las 22 reservas genéticas de tortugas marinas. La elaboración y aplicación de directrices de mejores prácticas para la gestión de la luz se indicó como una medida fundamental para promover la recuperación de las tortugas marinas⁵⁷.

Distribución

Entre los hábitats de anidación de tortugas cabe incluir las playas subtropicales y tropicales continentales, así como de islas situadas mar adentro que se extienden desde el norte de Nueva Gales del Sur en la costa oriental en torno a Australia Septentrional hasta Shark Bay en Australia Occidental. La extensión del área de anidación conocida para cada reserva genética se puede ver en el [Perfil de especies y base de datos de amenazas](#) del Departamento de Medio Ambiente y Energía y en el [Plan de Recuperación](#)⁵⁷.

Período de anidación y eclosión

Las tortugas marinas que anidan en el extremo norte, entre Kimberley y Cape York, por lo general anidan durante todo el año, pero alcanzan su punto máximo durante los meses más fríos de invierno, mientras que la anidación de verano es la favorecida por las tortugas que anidan en el sur de Kimberley central en Australia Occidental y en el Pacífico a lo largo de la costa de Queensland y zona septentrional de Nueva Gales del Sur. El período específico de las temporadas de anidación y eclosión de cada población se puede ver en el [Plan de recuperación](#)⁵⁷.

Hábitat importante para las tortugas marinas

Los efectos de las luces artificiales en las tortugas son muy pronunciados en las playas de anidación y en las aguas cercanas a la costa, que podrían incluir áreas de interanidación, a través de las cuales viajan las crías para llegar al océano. Para los fines de estas Directrices, se entiende por “hábitat importante” para las tortugas todas las áreas designadas como **Hábitat fundamental para la supervivencia de las tortugas marinas**, así como las **Áreas biológicamente importantes (ABI)**, o en las áreas de Queensland identificadas en proyectos de planificación local como **Áreas sensibles para las tortugas marinas**.

- Para cada población se identificó el **Hábitat fundamental para la supervivencia de las tortugas marinas** como parte de la elaboración del [Plan de recuperación de las tortugas marinas en Australia \(2017\)](#). Las áreas de anidación y de interanidación designadas como

“hábitat fundamental para la supervivencia de las tortugas marinas” se pueden ver en el Plan de Recuperación o en el [Atlas nacional de valores de conservación](#) del Departamento de Medio Ambiente y Energía.

- **Áreas biológicamente importantes (ABI)** son áreas donde las especies migratorias y amenazadas incluidas en las listas muestran un comportamiento biológicamente importante, tales como la reproducción, búsqueda de alimento, descanso y migración. Las ABI de mayor relevancia para el examen de los efectos de la luz son las ABI de anidación e interanidación designadas para cada especie. Las ABI de las tortugas marinas se pueden determinar consultando el [Atlas nacional de valores de conservación](#) del Departamento de Medio Ambiente y Energía.
 - La presencia de una ABI indica que se sabe que tienen lugar comportamientos biológicamente importantes, pero la ausencia de dicha designación no impide que un área constituya una ABI. Cuando en los estudios sobre el terreno se identifique un comportamiento biológicamente importante, el hábitat en cuestión deberá gestionarse consecuentemente.
- Las **Áreas sensibles para las tortugas marinas** están definidas en los proyectos de planificación del gobierno local de acuerdo con el Código de áreas sensibles para las tortugas marinas del gobierno de Queensland. Estas áreas pueden mostrarse en los mapas de superposición del gobierno local relativos a la protección de la biodiversidad costera en el proyecto de planificación.

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 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 suscita particular preocupación respecto de las tortugas en Australia, 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.

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. 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}.

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 nm⁶⁵. En las playas expuestas a la luz, las hembras anidan en mayor número en las zonas

sombreadas^{14,66}. También las fuentes de luz artificial móviles (p. ej., fotografías con flash)⁶⁷ pueden desalentar la anidación o causar trastornos a las hembras anidadoras.

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. 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}. Pueden encontrar también el mar utilizando señales secundarias como la pendiente de la playa⁴⁸.

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}. 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}. 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.

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. 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.

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}. 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}.

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}. 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. 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° - 30° 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.

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}. 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.

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. 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}. Según los informes, en el mar, las crías nadan alrededor de las luces de las embarcaciones^{33,82} y, en estudios de laboratorio, las luces han atraído a las crías que nadan en el agua⁸³. 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}. 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. 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.

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 refinera de aluminio que perturba la orientación de las tortugas a 18 km de distancia²⁷.

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.

Orientaciones sobre el tema

- [Plan de recuperación para las tortugas marinas en Australia \(2017\)](#)
- [Plan de acción de especies individuales para la tortuga boba \(*Caretta caretta*\) en el Pacífico Sur](#)
- [Código de área sensible para las tortugas marinas del gobierno de Queensland](#)

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.

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 tortugas marinas deberán estar dotadas de calificaciones académicas pertinentes equivalentes a una educación terciaria en biología o ecología marina, 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 recopilada durante esta fase deberán tenerse en cuenta los [Efectos de la luz 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.

Se puede encontrar información específica pertinente sobre especies y poblaciones en el [Plan de recuperación de tortugas marinas en Australia \(2017\)](#), [Instrumento de búsqueda de materias protegidas](#), [Atlas nacional de valores de conservación](#), información estatal y territorial sobre especies incluidas en las listas; literatura científica y conocimientos locales/indígenas.

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 4 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 4 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>Parques Marinos de Queensland</p> <p>Guía de campo sobre tortugas</p> <p>Tortuga NWSFTCP</p> <p>Guía de campo de seguimiento</p> <p>Tortuga Ningaloo</p> <p>Guía de campo de seguimiento</p> <p>Datos mínimos FODA</p> <p>Normas para el seguimiento de anidación de tortugas marinas en playas</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. Consultar el Plan de Recuperación de Tortugas Marinas en Australia para obtener información específica sobre 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

- 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

En el [Plan de recuperación](#) se establece que 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 a la 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 consecencial 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 más adelante el [Conjunto de opciones de mitigación](#). 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 luz

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 5 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 6 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 5 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.	Podrá encontrarse información relativa a la temporada alta de anidación de cada población consultando el Plan de recuperación de las tortugas marinas en Australia ⁵⁷ .
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 .
Mantener una pantalla de dunas y/o vegetación entre el hábitat de anidación y las fuentes de luz del	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 <u>infraestructura industrial</u> .	Evitar toda instalación de luces artificiales a menos de 1,5 km de una zona de desarrollo industrial ⁷⁸ .
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
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 las 8 de la tarde.
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
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
Colaborar colectivamente con los vecinos propietarios de industrias/tierras privadas para abordar los efectos acumulativos de <u>las luces artificiales</u> .	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
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.

Reducir la iluminación innecesaria en el mar.	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
---	---

Medidas de gestión	Información detallada
Evitar que brille la luz directamente sobre los palangres y/o se iluminen los cebos en el agua.	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.
Evitar luces que contengan luz violeta/azul de onda corta.	Las luces ricas de luz azul pueden incluir: halogenuros metálicos, fluorescentes, halógenos, vapor de mercurio y la mayor parte de luces LED.
Evitar LED blancos.	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.
Evitar luces de alta intensidad de cualquier color.	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
Apantallar las antorchas de gas y ubicarlas tierra adentro y lejos de la playa de anidación.	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.
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.	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
Que los operadores de plantas/sitios industriales utilicen linternas frontales.	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.
Dotar la iluminación de seguridad del perímetro de la instalación con sistemas de detección de infrarrojos supervisados por computadora.	Se puede utilizar la iluminación perimetral si se requiere iluminación nocturna, pero permaneciendo apagada en otros momentos.

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.
---	---

Medidas de gestión	Información detallada
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 6 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 (400 - 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. Todas las 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 aspectos físicos de la luz que influyen en mayor medida en las aves marinas son la intensidad y el color (longitud de onda). 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.

La luz artificial puede desorientar a las aves marinas y pueden causar lesiones y/o la muerte por colisión con las infraestructuras. 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. La alta mortalidad de las aves marinas se debe al aterrizaje de las crías a causa de la atracción hacia las luces⁴ y la interacción con las embarcaciones en el mar.



Estado de conservación

Las especies de aves marinas migratorias en Australia están protegidas por tratados y acuerdos internacionales, tales como la *Convención sobre la Conservación de Especies Migratorias de Animales Silvestres* (CMS, Convención de Bonn), la *Convención de Ramsar sobre los Humedales*, el *Acuerdo sobre la Conservación de Albatros y Petreles* (ACAP), y a través de la Asociación de rutas migratorias de Asia oriental - Australasia (la Asociación de rutas migratorias). El Gobierno Australiano ha establecido acuerdos bilaterales sobre aves migratorias con Japón (Acuerdo Japón-Australia, sobre aves migratorias (JAMBA)), China (Acuerdo China-Australia sobre aves migratorias (CAMBA) y la República de Corea (Acuerdo República de Corea - Australia sobre aves migratorias (ROKAMBA)). En Australia, la *Ley de Protección del Medio Ambiente y Conservación de la Biodiversidad de 1999* (Ley EPBC) da efectividad a estas obligaciones internacionales. Muchas aves marinas están también protegidas por la legislación ambiental estatal y territorial.

Se estima que 15,5 millones de parejas de aves marinas, de 43 especies, se reproducen en colonias continentales e insulares⁴. De las 43 especies, 35 están catalogadas como amenazadas y/o migratorias con arreglo a la Ley EPBC. De las 35 especies incluidas en la Ley EPBC, el 90% son Procellariiformes (petreles, pardelas, paíños, petreles tábanos y petreles buceadores) que se reproducen en madrigueras, atienden a las colonias de reproducción solo durante la noche⁸⁹ y, por tanto, están mayormente expuestas al riesgo de los efectos de la luz artificial. Las pardelas de Tasmania comprenden el 77% (11,9 millones de parejas) del total de parejas de aves marinas reproductoras.

Distribución

Las aves marinas en Australia pertenecen a especies reproductoras tanto migratorias como residenciales. La mayor parte de las especies reproductoras son pardelas y charranes de climas templados y tropicales que emprenden largas migraciones a zonas de invernación fuera de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de Australia. Hay, sin embargo, un número considerable de especies residenciales que permanecen dentro de la ZEE durante todo el año y emprenden migraciones más cortas a zonas de alimentación no reproductivas dentro de la ZEE.

Período de uso del hábitat

La mayor parte de la reproducción de aves marinas tiene lugar durante la primavera/verano austral (septiembre-enero), pero puede extenderse en algunas especies hasta abril/mayo. Las excepciones son las aves criadoras del invierno austral, unas pocas especies integradas en gran parte por petreles que pueden comenzar a anidar en junio. La reproducción ocurre casi exclusivamente en muchas de las islas continentales cercanas a la costa situadas en torno a Australia. Las aves marinas pasan la mayor parte del tiempo volando o en el mar, por lo que generalmente se encuentran en islas de reproducción solo durante la temporada de reproducción, o a lo largo de bancos de arena y cordones litorales en costas continentales o costas de islas cuando se posan durante su período de no reproducción.

Hábitat importante para las aves marinas

Las aves marinas pueden verse afectadas por la luz artificial en las áreas de reproducción, o mientras se alimentan y migran. Para los fines de estas Directrices, por “hábitat importante para las aves marinas” se entiende todas las áreas designadas como “hábitat fundamental para la supervivencia de las aves marinas” y las “áreas biológicamente importantes” (ABI), así como las áreas designadas como hábitats importantes en los planes de conservación de la fauna silvestre y en las notas de asesoramiento de conservación específicas de cada especie. .

- En el [Plan nacional de recuperación de albatros y petreles gigantes amenazados 2011-2016*](#) se indican los hábitats fundamentales para la supervivencia de estas especies. Cuando no esté en vigor un plan de recuperación para una especie amenazada incluida en las listas, se invita a consultar las notas de asesoramiento de conservación pertinentes aprobadas.
- Para las medidas que se apliquen en la Antártida se deberán tener en cuenta las [Áreas importantes para las aves en la Antártida](#)⁹⁰.
- Las “áreas biológicamente importantes” (ABI) son áreas en las que las especies migratorias y amenazadas incluidas en las listas muestran comportamientos biológicamente importantes, tales como la reproducción, la búsqueda de alimento, el descanso y la migración. Las ABI de aves marinas se pueden explorar a través del [Atlas nacional de valores de conservación](#) del Departamento de Medio Ambiente y Energía.
 - La presencia de una ABI indica que se sabe que tienen lugar comportamientos biológicamente importantes, pero la ausencia de dicha designación no impide que un área constituya una ABI. Cuando en los estudios sobre el terreno se identifique un comportamiento biológicamente importante, el hábitat en cuestión deberá gestionarse consecuentemente.

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. Más recientemente, la luz artificial relacionada con la rápida urbanización de las zonas costeras se ha traducido en una mayor mortalidad de aves marinas⁹³ y, actualmente, se sabe que 56 especies de petreles en todo el mundo se ven afectadas por la iluminación artificial^{4,31}. 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. 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}.

*Este instrumento legislativo estará en vigor hasta 2021.

Las aves marinas, en particular las especies de petreles del Océano Austral, pueden desorientarse por la iluminación de las embarcaciones 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. 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 gaviotas, skúas u otros depredadores diurnos, 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.

Se han notificado altas tasas de caídas o de colisiones de aves con estructuras, entre las aves marinas que anidan en lugares adyacentes a áreas urbanas o desarrolladas^{4,104,105} y en el mar, allí donde las aves marinas interactúan con plataformas de petróleo y gas en alta mar^{106,107}. En un informe sobre las interacciones con las plataformas de petróleo y gas en el Mar del Norte se señaló la luz como la causa probable de cientos de miles de muertes de aves cada año. Se señaló también que estas muertes podrían ser un efecto específico del lugar¹⁰⁸.

También las antorchas de gas afectan a las aves marinas. En una descripción anecdótica se habla de 24 cadáveres quemados de aves marinas (pardelas del Pacífico) dentro y alrededor de una antorcha de gas a cielo abierto. Es probable que las aves se sintieran atraídas por la luz y el ruido de la bengala y, al girar en torno a la fuente, quedaron engullidas y se quemaron en el aire excesivamente caliente que se forma sobre la llama (obs. pers. K Pendoley, 1992). K Pendoley, 1992).

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. Muchas especies de Procellariiformes (es decir, pardelas, paíños, petreles tábanos) son vulnerables durante las actividades nocturnas, que forman parte del ciclo de reproducción anual. 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. En un estudio reciente se muestra que la luz artificial interrumpe la atención de los adultos al nido y, por lo tanto, afecta al aumento de peso de los pollitos¹¹⁰.

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}.

Las aves marinas que anidan en madrigueras suelen estar expuestas a la luz que entra por la entrada de la madriguera durante el día. Las crías son alimentadas por los padres que regresan a la madriguera desde la entrada creando una asociación entre la luz y la comida en las aves recién emplumadas. Gran parte de la literatura sobre los efectos de la iluminación sobre las aves marinas se refiere al éxodo masivo sincronizado de las crías de sus sitios de anidación^{96,98,101,102,112,113}. Las crías de Procellariiformes abandonan la colonia de anidación hacia el mar por la noche⁸⁹, volviendo a reproducirse varios años después. En Australia, el principal período de cría de las pardelas tiene lugar en abril/mayo¹¹⁴.

Se cree que la salida durante la oscuridad es una estrategia para evitar a los depredadores¹¹⁵, 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 a verse atraídas a las luces situadas en tierra después de haber llegado al mar^{28,105}. 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. Se desconocen las consecuencias de la exposición a la luz artificial sobre la viabilidad de una población reproductora de aves marinas¹¹⁷.

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. 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 de las pardelas del Pacífico (*Puffinus pacificus*) se caracterizan por una elevada proporción de conos sensibles a longitudes de onda más cortas¹²⁰. 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.

Muchas aves diurnas pueden ver en el rango de los rayos ultravioleta (menos de 380 nm)¹²¹, si bien, de las 300 especies de aves marinas, solo 17 tienen visión sensible a los rayos ultravioleta¹¹⁹. 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).

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. 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.

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. 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}. 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. 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}.

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. 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. Si bien la luz artificial puede mejorar la visión de los pingüinos por la noche, reduciendo el riesgo de depredación 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 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.

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

- [Plan nacional de recuperación de albatros y petreles gigantes amenazados 2011-2016[†]](#)
- [Declaración de política 3.21 de la Ley EPBC: Directrices de la industria para evitar, evaluar y mitigar los efectos sobre las especies de aves playeras migratorias incluidas en la Ley EPBC](#)

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) como de onda larga (naranja/roja)⁹ y algunas especies pueden detectar la luz ultravioleta. No obstante, puede que la intensidad de las luces sea más importante que el color.

Obsérvese que este instrumento legislativo estará en vigor hasta 2021.

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; grado de dispersión/localización de la población; 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 los documentos [Plan nacional de recuperación de albatros y petreles gigantes amenazados 2011-2016](#); [Instrumento de búsqueda de materias protegidas](#); [Atlas nacional de valores de conservación](#); asesoramiento de conservación pertinente; planes de conservación de la fauna silvestre pertinentes; información estatal y territorial sobre especies incluidas en las listas; 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 7 se resumen los parámetros mínimos de seguimiento sugeridos (lo que se mide) y las técnicas (cómo se miden).

Cuadro 7 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	<p>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.</p>	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 (posiblemente 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.

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 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 y ver el área desde la colonia de aves marinas. 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 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., que la luz sea visible en las colonias de aves marinas o que aumenten las tasas de caídas).

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 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.

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 8 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 9 se proporciona una lista propuesta de tipos de luz apropiados para su uso cerca de las colonias de aves marinas 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.

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.

Cuadro 8 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.
Apagar las luces durante la temporada de desarrollo de las crías.	Si no es posible apagar las luces, considerar la posibilidad de adoptar toques de queda, opciones de atenuación o variaciones de los espectros de luz (de ser posible hacia luces con bajas emisiones de azul). Las crías pueden verse atraídas hacia las luces situadas en tierra cuando vuelan hacia el mar.
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 a las 7 de la tarde, 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. Estas medidas pueden contribuir a reducir las consecuencias en un 40% ⁴ .
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.
Utilizar sensores de movimiento para encender las luces solo cuando sea necesario.	Utilizar sensores de movimiento para el alumbrado público o de peatones a menos de tres kilómetros de una colonia de aves marinas.
Evitar que la iluminación de interiores llegue al ambiente exterior	Utilizar pantallas de ventana fijas o tintes para ventanas y tragaluces fijos para contener la luz en el interior de los edificios.

Medidas de gestión	Información detallada
<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 buey 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 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</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</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, asegurar una gestión apropiada de las aves y documentar la interacción.</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>

Medidas de gestión	Información detallada
<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 y en áreas de alimentación conocidas.</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 (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.</p>

Medidas de gestión	Información detallada
Dotar la iluminación de seguridad del perímetro de las instalaciones con sistemas de detección de infrarrojos supervisados por computadora	La iluminación del perímetro se puede mantener encendida cuando se necesita la iluminación nocturna, apagada por el resto del tiempo
Para las actividades turísticas alrededor de las colonias de aves marinas deberán utilizarse linternas para no perturbar a las	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.
Diseñar y poner en práctica un programa de rescate para las aves que han caído a tierra..	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.

Cuadro 9 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 poco 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. 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.

Se han descrito al menos 215 especies de aves playeras¹³¹ y sus características comprenden una larga vida útil, pero un bajo rendimiento reproductivo y son altamente migratorias¹³². 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. Aproximadamente el 62% de las especies de aves playeras son migratorias. Algunos son migrantes transoceánicos y transcontinentales de largas distancias, capaces de volar hasta ocho días sin escalas, con ejemplos de individuos que cubren distancias de hasta 11.500 km¹³⁴.



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, tales como la Convención sobre la Conservación de Especies Migratorias de Animales Silvestres (CMS, Convención de Bonn), la Convención de Ramsar sobre Humedales y a través de la Asociación de rutas migratorias de Asia oriental - Australasia (la Asociación de rutas migratorias). El Gobierno Australiano ha establecido acuerdos bilaterales sobre aves migratorias con Japón (Acuerdo Japón-Australia, sobre aves migratorias JAMBA), China (Acuerdo China-Australia sobre aves migratorias, CAMBA) y la República de Corea (Acuerdo República de Corea - Australia sobre aves migratorias, ROKAMBA). En Australia, la Ley de Protección del Medio Ambiente y Conservación de la Biodiversidad de 1999 (Ley EPBC) da efectividad a estas obligaciones internacionales. Muchas especies están también protegidas por la legislación ambiental estatal y territorial.

Hay 37 especies clasificadas como especies amenazadas y/o migratorias en el marco de la Ley EPBC, y son por lo tanto "asuntos de Importancia ambiental nacional" (MNES) en Australia. Son al menos 56 las especies transecutoriales pertenecientes a tres familias: En Australia se han registrado las canasteras (*Glareolidae*), los chorlitos (*Charadriidae*) y los escolopácidos (*Scolopacidae*)¹³⁵. De estas, 36 especies y una especie no transecutorial figuran incluidas en la Ley EPBC. Tres especies (y una subespecie) de aves playeras migratorias están clasificadas como "en peligro crítico", dos especies como "en peligro" y una especie (y una subespecie) como "vulnerables" en el marco de la Ley EPBC.

Estas Directrices deben leerse conjuntamente con 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 EPBC](#)¹³⁶.

Distribución

Las aves playeras migratorias se encuentran en todos los estados y territorios, y están en Australia durante todo el año. La abundancia máxima se registra entre agosto y abril, si bien las aves sexualmente inmaduras aplazan su migración hacia el norte por varios años y pueden encontrarse en Australia durante los meses de invierno austral.

Viven predominantemente en hábitats de humedales que comprenden estuarios y humedales intermareales, playas costeras, marismas, franjas de manglares, praderas húmedas y lagos efímeros de agua dulce y salada en el interior de Australia. Las aves playeras son también oportunistas y explotan hábitats artificiales como pastos, tierras de labranza, plantas de tratamiento de aguas residuales, canales de riego, campos deportivos y campos de golf. De los 397 sitios reconocidos internacionalmente, considerados importantes para las aves playeras migratorias a lo largo de la ruta migratoria de Asia oriental-Australasia, 118 se encuentran en Australia¹³⁷.

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.
- **Hábitats de importancia nacional** son los humedales 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.

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. 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 o la interferencia con la brújula magnética utilizada por las aves durante la migración¹⁵⁰. 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.

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. 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.

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.

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}. 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 (Choi obs. pers. 2018, Straw pers. comm. 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. 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. En el examen se reconocieron asimismo las lagunas en el seguimiento y se concluyó que probablemente los efectos eran 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.

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 previsible, 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

- [Plan de conservación de la fauna silvestre para aves playeras migratorias \(2015\)](#)
- 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 puede encontrar información pertinente sobre las aves playeras 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, el Instrumento de búsqueda de materias protegidas, el Atlas nacional de valores de conservación](#), la información estatal y territorial sobre las especies incluidas en las listas; la literatura científica; y los conocimientos locales/indígenas.

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 10 se resumen los parámetros mínimos de seguimiento sugeridos (lo que se mide) y las técnicas (cómo se miden).

Cuadro 10 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.

Clase de edad del objetivo	Actividad de estudio	Duración	Referencia
Adulto	Se recomiendan cuatro censos de aves en reposo (uno en diciembre, dos en enero y uno en febrero), con tres o cuatro censos adicionales en un ciclo de mareas muertas-mareas vivas.	Dos horas antes y después de la marea alta prevista.	<u>Directrices de la industria para evitar, evaluar y mitigar los efectos en las especies de aves playeras migratorias Incluidas en las listas de la Ley EPBC</u> ¹³⁶
Inmaduro	Una o dos encuestas sobre aves en reposo entre mediados de mayo y mediados de julio.	Dos horas antes y después de la marea alta prevista.	

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 su examen.

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: Describir la población de aves playeras migratorias](#). 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.

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 11 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 11 Medidas de gestión de la luz específicas para las aves playeras migratorias.

Medidas de gestión	Información detallada
Aplicar las medidas cuando es probable que haya aves presentes. Las medidas comprenden períodos de máxima migración (ubicaciones de rutas migratorias).	Las aves se encuentran en Australia durante todo el año. Los principales desplazamientos a lo largo de las costas tienen lugar entre marzo y abril, y entre agosto y noviembre. La abundancia de aves playeras alcanza su punto máximo entre agosto y abril, Las cantidades menores se registran de abril a agosto.
Ninguna fuente de luz deberá ser directamente visible desde los hábitats de alimentación o de descanso nocturno, o desde las rutas migratorias.	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.
No instalar fuentes de luz fijas en áreas nocturnas de forrajeo o descanso.	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.
Evitar que fuentes de luz móviles brillen en el hábitat nocturno de forrajeo y descanso.	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.

Medidas de gestión	Información detallada
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.	Reduciendo la exposición de las aves playeras a la luz artificial se reducirá el riesgo de depredación y perturbación.
Mantener una zona oscura entre los hábitats de alimentación nocturna y de descanso y las fuentes de luz artificial.	La creación de una zona oscura entre las luces artificiales y el hábitat de las aves playeras reducirá las molestias a las aves playeras.
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 las 7 de la tarde hasta el amanecer.	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.
Utilizar luces giratorias/intermitentes en lugar de un haz fijo.	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.
Utilizar sensores de movimiento para encender las luces solo cuando sea necesario.	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.
Gestionar la luz artificial en muelles y marinas.	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.
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>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 competentes.</p>

Medidas de gestión	Información detallada
<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. 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 12 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 *so/o* se puede utilizar si se aplica un filtro para eliminar toda luz de longitud de onda problemática.

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.

Bombilla incandescente: es una bombilla que proporciona luz mediante un filamento calentado a una temperatura elevada por la corriente eléctrica.

Bombilla: es la fuente de luz eléctrica y es un componente de una luminaria.

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 que mide la cantidad de luz emitida en el rango de un tramo angular (tridimensional). La luminancia se mide típicamente en candelas por metro cuadrado (cd/m²).

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.

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.

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

Contaminación lumínica: es el resplandor del cielo nocturno causado por la **luz artificial**.

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.

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.

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.

Fuente puntual: es la luz de una lámpara no apantallada (es decir, directamente visible).

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 clasificación en las listas. Comprenden también las áreas designadas como **hábitat fundamental para la supervivencia** de una especie amenazada.

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.

Intensidad radiante (término radiométrico): es la cantidad de flujo emitido a través de un ángulo sólido conocido, W/esteroradiante, 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 700 nm a 1 mm.

Irradiancia (término radiométrico): es una medida del flujo radiante en o sobre una superficie conocida, W/m². Esta medida es apropiada para comprender la percepción de la luz por los animales.

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. El Kelvin se utiliza normalmente para describir la **temperatura de color correlacionada (CCT)**.

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**).

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.

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: la luz que viaja a través del espacio se convierte en una onda con puntos máximos y mínimos uniformemente espaciados. La distancia entre los puntos máximos (o los mínimos) se llama longitud de onda de la luz. La luz ultravioleta y azul son ejemplos de luz de longitud de onda corta, mientras que la luz roja e infrarroja son luz de longitud de onda larga. La energía de la luz depende de la longitud de onda; la luz de longitud de onda corta tiene mucha más energía que la luz de longitud de onda larga.

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.

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. 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 y los animales. La luz estimula los receptores del sistema visual y esas señales son interpretadas por el cerebro haciendo que las cosas sean visibles.

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.

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.

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/m².

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): 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.

Reserva genética: 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.

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.

ROKAMBA (Republic of Korea-Australia Migratory Bird Agreement): es el *Acuerdo República de Corea - Australia de Aves Migratorias*

Temperatura de color correlacionada (CCT, Correlated Colour Temperature): es una forma simplificada de caracterizar las propiedades espectrales de una fuente de luz 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 frío (azul) a cálido (amarillo), medido en Kelvin (K). 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: es la luz ultravioleta y representa una banda del espectro electromagnético con una longitud de onda de 10 nm a 400 nm.

Vataje: es la cantidad de electricidad necesaria para encender una bombilla. Generalmente, cuanto mayor es el vataje, más **lúmenes** se producen. Mayor es el vataje, mayor será el número de lúmenes y más brillante la luz.

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.

ZEE: se refiere a la Zona Económica Exclusiva de Australia.

Referencias

1. Kyba CCM, Kuester T, Sánchez de Miguel A, Baugh K, Jechow A, Hölker F, Bennie J, Elvidge CD, Gaston KJ & Guanter L (2017) Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances* 3:e1701528.
2. Russart KLG & Nelson RJ (2018) Artificial light at night alters behavior in laboratory and wild animals. *JEZ-A Ecological and Integrative Physiology* 329(8-9):401-408.
3. Witherington B & 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.
4. Rodríguez A, Holmes ND, Ryan PG, Wilson K-J, Faulquier L, Murillo Y, Raine AF, Penniman J, Neves V, Rodríguez B, Negro JJ, Chiaradia A, Dann P, Anderson T, Metzger B, Shirai M, Deppe L, Wheeler J, Hodum P, Gouveia C, Carmo V, Carreira GP, Delgado-Alburqueque L, Guerra-Correa C, Couzi F-X, Travers M & Le Corre M (2017) A global review of seabird mortality caused by land-based artificial lights. *Conservation Biology* 31:986-1001.
5. Robert KA, Lesku JA, Partecke J & Chambers B (2015) Artificial light at night desynchronizes strictly seasonal reproduction in a wild mammal. *Proceedings of the Royal Society B* 282:20151745.
6. Fobert EK, Burke da Silva K & Swearer SE (2019) Artificial light at night causes reproductive failure in clownfish. *Biology Letters* 15:e20190272.
7. Rich C & Longcore T, eds. (2006) *Ecological consequences of artificial night lighting*. Island Press: Washington DC. 480.
8. Campos SMC (2017) The impact of artificial lighting on nature. In *6th SENAC MEETING of Integrated Knowledge Senac Sorocaba*. 2017.
9. Reed JR (1986) *Seabird vision: Spectral sensitivity and light-attraction behavior* University of Wisconsin: Madison, Wisconsin. 190.
10. Newman EA & Hartline PH (1981) Integration of visual and infrared information to bimodal neurons in the rattlesnake optic tectum. *Science* 213(4509):789-91.
11. Gaston KJ, Visser ME & Hölker F (2018) The biological impacts of artificial light at night: the research challenge. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 370:e20140133.
12. Sanders D & Gaston KJ (2018) How ecological communities respond to artificial light at night. *Journal of Experimental Zoology* 329(8-9):394-400.
13. Bennie J, Davies TW, Cruse D & Gaston J (2016) Ecological effects of artificial light at night on wild plants. *Journal of Ecology* 104(3):611-620.
14. Price JT, Drye B, Domangue RJ & Paladino FV (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.
15. Witherington BE (1992) Behavioural response of nesting sea turtles to artificial lighting. *Herpetologica* 48:31-39.
16. Thums M, Whiting SD, Reisser JW, Pendoley KL, Pattiaratchi CB, Proietti M, Hetzel Y, Fisher R & Meekan M (2016) Artificial light on water attracts turtle hatchlings during their near shore transit. *Royal Society Open Science* 3:e160142.
17. Cabrera-Cruz SA, Smolinsky JA & Buler JJ (2018) Light pollution is greatest within migration passage areas for nocturnally-migrating birds around the world. *Nature Scientific Reports* 8:e3261.

18. Ouyang JQ, de Jong M, Hau M, Visser ME, van Grusven RHA & Spoelstra K (2015) Stressful colours: corticosterone concentrations in a free-living songbird vary with the spectral composition of experimental illumination. *Biology Letters* 11:20150517.
19. Warrant EJ, Frost B, Green K, Mouritsen H, Dreyer D, Adden A, Brauburger K & Heinze S (2016) The Australian Bogong moth *Agrotis infusa*: A long-distance nocturnal navigator. *Frontiers in Behavioural Neuroscience* 10:doi: 10.3389/fnbeh.2016.00077.
20. Commonwealth of Australia (2016) *National Recovery Plan for the Mountain Pygmy-possum *Burrhamys parvus** Prepared by the Victorian Department of Environment, Land, Water and Planning: Canberra, Australia. 43.
21. Haddock JK, Threlfall CG, Law B & Hochuli DF (2019) Responses of insectivorous bats and nocturnal insects to local changes in street light technology. *Austral Ecology* In Press.
22. Bolton D, Mayer-Pinto M, Clark GF, Dafforn KA, Brassil WA, Becker A & Johnston EL (2017) Coastal urban lighting has ecological consequences for multiple trophic levels under the sea. *Science of the Total Environment* 576:1-9.
23. Gonzá'lez-Bernal E, Brown G & Shine R (2014) Invasive cane toads: Social facilitation depends upon an individual's personality. *PLoS ONE* 9(7):e102880.
24. Wilson P, Thums M, Pattiaratchi CB, Whiting S, Pendoley K, Ferreira L & Meekan M (2019) High predation of marine turtle hatchlings near a coastal jetty. *Biological Conservation* 236(2019):571-579.
25. Commonwealth of Australia (2013) *Matters of National Environmental Significance Significant Impact Guidelines 1.1 Environmental Protection and Biodiversity Conservation Act 1999*: Canberra, Australia. 39.
26. Kamrowski RL, CJ L, Pendoley K & Hamann M (2014) Influence of industrial light pollution on the sea-finding behaviour of flatback turtle hatchlings. *Wildlife Research* 41:421-434.
27. Hodge W, Limpus CJ & Smissen P (2007) *Queensland turtle conservation project: Hummock Hill Island Nesting Turtle Study December 2006 Conservation Technical and Data Report* Environmental Protection Agency, Queensland. 1-10.
28. Rodríguez A, Burgan G, Dann P, Jessop R, Negro JJ & Chiaradia A (2014) Fatal attraction of short-tailed shearwaters to artificial lights. *PLoS ONE* 9(10):e110114.
29. Moro D, van de Merwe J, Thomas M, Smith A & Lagdon R (2018) Integrating resource development with island conservation: Barrow Island as a model for conservation and development. In: *Australian Island Arks: Conservation, Management and Opportunities*, Moro D, Ball D & Bryant S, Editors. CSIRO Publishing: Melbourne, p:131-146.
30. Chevron Australia (2018) *Gorgon Gas Development and Jansz Feed Gas Pipeline Long-term Marine Turtle Management Plan*. 83.
31. Rodríguez A, Moffet J, Revoltos A, Wasiak P, McIntosh RR, Sutherland DR, Renwick L, Dann P & Chiaradia A (2017) Light pollution and seabird fledglings: targeting efforts in rescue programs. *Journal of Wildlife Management* 81:734-741.
32. Rodríguez A, Dann P & Chiaradia A (2017) Reducing light-induced mortality of seabirds: High pressure sodium lights decrease the fatal attraction of shearwaters. *Journal for Nature Conservation* 39:68-72.
33. Limpus CJ, Miller JD, Parmenter CJ & Limpus DJ (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.
34. Irsitech (2018) <https://iritech.co/how-iris-reduces-blue-light/visible-spectrum>. 2018 [cited Accessed 1stOctober 2018].

35. Algvère PV, Marshall J & Seregard S (2006) Age-related maculopathy and the impact of blue light hazard. *Acta Ophthalmologica Scandinavica* 84(1):4-15.
36. West KE, Jablonski MR, Warfield B, Cecil KS, James M, Ayers MA, Maida J, Bowen C, Sliney DH, Rollag MD & Hanifin JP (2010) Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. *Journal of applied physiology* 110(3):619-626.
37. Pendoley K & Kamrowski RL (2015) 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.
38. Bird BL, Branch LC & Miller DL (2004) Effects of coastal lighting on foraging behaviour on beach mice. *Conservation Biology* 18:1435-1439.
39. Salmon M (2006) Protecting Sea Turtles from Artificial Night Lighting at Florida's Oceanic Beaches. In: *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Rich C & Longcore T, Editors. Island Press: Washinton DC, p:141-168.
40. Tosini G, Ferguson I & Tsubota K (2016) Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. *Molecular Vision* 22:61-72.
41. Ecker JL, Dumitrescu ON, Wong KY, Alam NM, Chen S, LeGates T, Renna JM, Prusky GT, Berson DM & Hattar S (2010) Melanopsin-Expressing Retinal Ganglion-Cell Photoreceptors: Cellular Diversity and Role in Pattern Vision. *Neuron* 67(1):49-60.
42. Berson DM (2007) Phototransduction in ganglion-cell photoreceptors. *Pflügers Archiv* 454(5):849-855.
43. de Jong M, Ouyang JQ, Da Silva A, van Grunsven RHA, Kempenaers B, Visser ME & Spoelstra K (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.
44. Angers K, Haddad N, Selmaoui B & Thibault L (2003) Effect of melatonin on total food intake and macronutrient choice in rats. *Physiology & Behavior* 80:9-18.
45. Benenson W, Harris JW, Stöcker H & Lutz H, eds. (2006) *Handbook of physics*. Springer Science & Business Media.
46. Kyba CCM, Ruhtz T, Fishcher J & Holker F (2011) Cloud coverage acts as an amplifier for ecological light pollution in urban ecosystems. *PLoS ONE* 6(e17307).
47. Longcore T, Rodríguez A, Witherington B, Penniman JF, Herf L & Herf M (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.
48. Lohmann KJ, Witherington B, Lohmann CMF & Salmon M (1997) Orientation, navigation, and natal beach homing in sea turtles. In: *The Biology of Sea Turtles. Volume I*, Lutz PL & Musick JA, Editors. CRC Press: Washington D.C., p:107-135.
49. Barentine JC (2019) Methods for Assessment and Monitoring of Light Pollution around Ecologically Sensitive Sites. *Journal of Imaging* 5(54).
50. Hänel A, Posch T, Ribas SJ, Aubé M, Duriscoe D, Jechow A, Kollath Z, Lolkema D, Moore C, Schmidt N, Spoelstra H, Wuchterl G & Kyba CCM (2018) Measuring night sky brightness: methods and challenges. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* doi: 10.1016/j.jqsrt.2017.09.008
51. Levin N, Kyba CCM, Zhang Q, Sánchez de Miguel A, Román MO, Li X, Portnov BA, Moltman AL, Jechow A, Miller SD, Wang Z, Shrestha RM & Elvidge CD (2020) Remote sensing of night lights: A review and an outlook for the future. *Remote Sensing of the Environment* 237:111443.
52. den Outer P, Lolkema D, Haaima M, Hoff RVD, Spoelstra H & Schmidt W (2011) Intercomparisons of Nine Sky Brightness Detectors. *Sensors* 11(10):9603.

53. Duriscoe DM (2013) Measuring anthropogenic skyglow using a natural sky brightness model. *Publications of the astronomical society of the Pacific* 125:1370-1382.
54. Jechow A, Kyba CCM & 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.
55. 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 & Astrophysics):012001.
56. Jechow A, Ribas SJ, Domingo RC, Hölker F, Kolláth Z & Kyba CC (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.
57. Commonwealth of Australia (2017) *The Recovery Plan for Marine Turtles in Australia* Department of the Environment and Energy: Canberra, Australia. 146.
58. Hooker D (1911) Certain reactions to color in the young loggerhead turtle. *Papers from the Tortugas Laboratory - Carnegie Institute* 13:71-76.
59. Salmon M (2003) Artificial night lighting and sea turtles. *Biologist* 50:163-168.
60. Falchi F, Cinzano P, Duriscoe D, Kyba CCM, Elvidge CD, Baugh K, Portnov BA, Rybnikova NA & Furgoni R (2016) The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances* 2(6):e1600377.
61. Kamrowski RL, Limpus CJ, Moloney J & Hamann M (2012) Coastal light pollution and marine turtles: Assessing the magnitude of the problem. *Endangered Species Research* 19:85-98.
62. Pendoley K (2000) *The influence of gas flares on the orientation of Green Turtle hatchlings at Thevenard Island, Western Australia* in Pilcher NJ & Ismail G, Editors, *Second ASEAN Symposium and Workshop on Sea Turtle biology and Conservation* ASEAN Academic Press: Kota Kinabalu, Borneo. 130-142.
63. Pendoley KL (2005) *Sea Turtles and the Environmental Management of Industrial Activities in North Western Australia* Murdoch University. 330.
64. Hu Z, Hu H & 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.
65. 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.
66. Salmon M, Reiners R, Lavin C & Wyneken J (1995) Behavior of loggerhead sea turtles on an urban beach. I. Correlates of nest placement. *Journal of Herpetology* 29(4):560-567.
67. 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. NOAA Technical Memorandum - NMFS-SEFSC.
68. Mrosovsky N (1968) Nocturnal emergence of hatchling sea turtles: control by thermal inhibition of activity. *Nature* 220:1338-1339.
69. Erb V & 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.
70. Limpus CJ & Kamrowski RL (2013) Ocean-finding in marine turtles: The importance of low horizon elevation as an orientation cue. *Behaviour* 150:863-893.

71. Horch KW, Gocke JP, Salmon M & Forward RB (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.
72. Witherington BE & Bjorndal KA (1991) Influences of artificial lighting on the seaward orientation of hatchling loggerhead turtles *Caretta caretta*. *Biological Conservation* 55(2):139-149.
73. Fritches KA (2012) Australian loggerhead sea turtle hatchlings do not avoid yellow. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 45(2):79-89.
74. Levenson DH, Eckert SA, Crognale MA, Deegan II JF & Jacobs GH (2004) Photopic Spectral Sensitivity of Green and Loggerhead Sea Turtles. *Copeia* 2004(2):908-914.
75. Robertson K, Booth DT & 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.
76. Mrosovsky N (1972) The water finding ability of sea turtles. *Brain Behaviour and Evolution* 5:202-225.
77. Mrosovsky N & Shettleworth SJ (1968) Wavelength preferences and brightness cues in the water finding behaviour of sea turtles. *Behaviour* 32:211-257.
78. Pendoley K & Kamrowski RL (2015) 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.
79. Salmon M, Wyneken J, Fritz E & Lucas M (1992) Sea finding by hatchling sea turtles: Role of brightness, silhouette and beach slope as orientation cues. *Behaviour* 122:5677.
80. Harewood A & Horrocks J (2008) Impacts of coastal development on hawksbill hatchling survival and swimming success during the initial offshore migration. *Biological Conservation* 141:394-401.
81. Truscott Z, Booth DT & Limpus CJ (2017) The effect of on-shore light pollution on sea-turtle hatchlings commencing their off-shore swim. *Wildlife Research* 3(5):127-134.
82. White D & Gill J (2007) A "lost years" flatback turtle *Natator depressus* (Garman, 1858) found. *Northern Territory Naturalist* 19:51-53.
83. Salmon M & Wyneken J (1990) Do swimming loggerhead turtles (*Caretta caretta* L.) use light cues for offshore orientation? *Marine Behavioural Physiology* 17:233-246.
84. Wilson P, Thums M, Pattiaratchi CB, Meekan M, Pendoley K, Fisher R & Whiting S (2018) Artificial light disrupts the nearshore dispersal of neonate flatback turtles *Natator depressus*. *Marine Ecology Progress Series* 600:179-192.
85. Eckert KL, Bjorndal KA, Abreu-Grobois FA & Donnelly M, eds. (1999) *Research and Management Techniques for the Conservation of Sea Turtles*. IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group Publication No. 4. : Washington, DC. 235.
86. Pendoley KL, Whittock PA, Vitenbergs A & Bell CD (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.
87. Witherington B (1997) The problem of photopollution for sea turtles and other nocturnal animals. In: *Behavioral Approaches to Conservation in the Wild*, Clemmons JR & Buchholz R, Editors. Cambridge University Press: Cambridge, p:303-328.
88. Ross GJB, Burbidge AA, Canty P, Dann P, Fuller PJ, Kerry KR, Norman FI, Menkhorst PW, Shaughnessy G, Shaughnessy PD & Smith GC (1996) Status of Australia's Seabirds. In: *State of the Environment Report*. CSIRO Sustainable Ecosystems: Perth, p:167-182.

89. Warham J (1990) *The Behaviour, Population Biology and Physiology of the Petrels*. London: Academic Press. p. 440.
90. Harris CM, Lorenz K, Fishpool LDC, Lascelles B, Cooper J, Croxall JP, Emmerson LM, Fraser WR, Fijn R, Jouventin P, LaRue MA, Le Maho Y, Lynch HJ, Naveen R, Patterson-Fraser DL, Peter H-U, Poncet S, Phillips RA, Southwell CJ, van Franeker JA, Weimerskirch H, Wienecke B & Woehler EJ (2015) *Important Bird Areas in Antarctica 2015 Summary*. Cambridge: BirdLife International and Environmental Research & Assessment Ltd. p. 45.
91. Murphy RC (1936) *Oceanic birds of South America*. New York: Macmillan. p.
92. Allen JA (1880) Destruction of birds by light-houses. *Bulletin of the Nuttall Ornithological Club* 5:131-138.
93. Gineste B, Souquet M, Couzi F-X, Giloux Y, Philippe J-S, Hoarau C, Tourmetz J, Potin G & Le Corre M (2016) Tropical shearwater population stability at Reunion Island, despite light pollution. *Journal of Ornithology* 158:385-394.
94. Ainley DG, Podolsky R, Nur N, Deforest L & Spencer GA (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.
95. Black A (2005) Light induced seabird mortality on vessels operating in the Southern Ocean: incidents and mitigation measures. *Antarctic Science* 17:67-68.
96. Deppe L, Rowley O, Rowe LK, Shi N, McArthur N, Gooday O & Goldstien SJ (2017) Investigation of fallout events in Hutton's shearwaters (*Puffinus huttoni*) associated with artificial lighting. *Notornis* 64(4):181-191.
97. Merkel FR & Johansen KL (2011) Light-induced bird strikes on vessels in Southwest Greenland. *Marine Pollution Bulletin* 62:2330-2336.
98. Raine H, Borg JJ, Raine A, Bariner S & Cardona MB (2007) *Light Pollution and Its Effect on Yelkouan Shearwaters in Malta; Causes and Solutions* BirdLife Malta: Malta: Life Project Yelkouan Shearwater. 1-54.
99. Rodríguez A, Rodríguez B & Lucas MP (2012) Trends in numbers of petrels attracted to artificial lights suggest population declines in Tenerife, Canary Islands. *Ibis* 154:167-172.
100. Syposz M, Goncalves F, Carty M, Hoppitt W & Manco F (2018) Factors influencing Manx Shearwater grounding on the west coast of Scotland. *Ibis* 160:846-854.
101. Rodríguez A, García D, Rodríguez B, Cardona EP, L. & Pons P (2015) Artificial lights and seabirds: is light pollution a threat for the threatened Balearic petrels? *Journal of Ornithology* 156:893-902.
102. Rodríguez A, Rodríguez B & Negro JJ (2015) GPS tracking for mapping seabird mortality induced by light pollution. *Scientific Reports* 5:10670.
103. Troy J, Holmes N, Veech J & Green M (2013) Using observed seabird fallout records to infer patterns of attraction to artificial light. *Endangered Species Research* 22:225-234.
104. Montevecchi WA (2006) Influences of Artificial Light on Marine Birds. In: *Ecological consequences of artificial night lighting*, Rich C & Longcore T, Editors. Island Press: Washington DC, p:480.
105. Podolsky R, Ainley D, Spencer G, Deforest L & Nur N (1998) Mortality of Newell's shearwaters caused by collisions with urban structures on Kauai. *Colonial Waterbirds* 21:20-34.
106. Bourne WRP (1979) Birds and gas flares. *Marine Pollution Bulletin* 10:124-125.
107. Burke CM, Davoren GK, Montevecchi WA & Wiese FK (2005) Seasonal and spatial trends of marine birds along offshore support vessel transects and at oil platforms on the Grand Banks. In: *Offshore oil and gas environmental effects monitoring: approaches and*

- technologies*, Armsworthy SL, Cranford PJ & Lee K, Editors. Battelle Press: Columbus, Ohio, p:587–614
108. Ronconi RA, Allard KA & Taylor PD (2015) Bird interactions with offshore oil and gas platforms: Review of impacts and monitoring techniques. *Journal of Environmental Management* 147:34-45.
 109. Imber MJ (1975) Behaviour of petrels in relation to the moon and artificial lights. *Notornis* 22:302-306.
 110. Cianchetti-Benedetti M, Becciu P, Massa B & Dell'Omo G (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.
 111. Mitkus M, Nevitt GA, Danielsen J & Kelber A (2016) Vision on the high seas: spatial resolution and optical sensitivity in two procellariform seabirds with different foraging strategies. *Journal of Experimental Biology* 219:3329-3338.
 112. Le Corre M, Ollivier A, Ribes S & Jouventin P (2002) Light-induced mortality of petrels: a 4-year study from Réunion Island (Indian Ocean). *Biological Conservation* 105:93-102.
 113. Reed JR, Sincok JL & Hailman JP (1985) Light attraction in endangered procellariform birds: reduction by shielding upward radiation. *Auk* 102:377-383.
 114. Serventy DL, Serventy VN & Warham J (1971) *The Handbook of Australian Seabirds*. Sydney: Reed. p. 255.
 115. Watanuki Y (1986) Moonlight avoidance behavior in leach's storm-petrels as a defense against slaty-backed gulls. *The Auk* 103(1):14-22.
 116. Telfer TC, Sincok JL, Byrd GV & Reed JR (1987) Attraction of Hawaiian seabirds to lights: conservation efforts and effects of moon phase. *Wildlife Society Bulletin* 15:406-413.
 117. Griesemer AM & 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 & Pacific Cooperative Studies Unit* University of Hawai'i: Honolulu, Hawai'i. 68.
 118. Vorobyev M (2003) Coloured oil droplets enhance colour discrimination. *Proceedings Biological Sciences* 270:1255–1261.
 119. Capuska GEM, Huynen L, Lambert D & Raubenheimer D (2011) UVS is rare in seabirds. *Vision research* 51(12):1333-1337.
 120. Hart NS (2001) The visual ecology of avian photoreceptors. *Progress in Retinal and Eye Research* 20:675-703.
 121. Bowmaker JK, Heath LA, Wilkie SE & Hunt DM (1997) Visual pigments and oil droplets from six classes of photoreceptor in the retinas of birds. *Vision Research* 37:2183-2194.
 122. Cannell BL & Cullen JM (1998) The foraging behaviour of little penguins *Eudyptula minor* at different light levels. *Ibis* 140(3):467-471.
 123. Bowmaker JK & Martin GR (1985) Visual pigments and oil droplets in the penguin, *Spheniscus humboldti*. *Journal of Comparative Physiology A* 156(1):71-77.
 124. Wiltschko W & 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.
 125. Rodríguez A, Holmberg R, Dann P & Chiaradia A (2018) Penguin colony attendance under artificial lights for ecotourism. *JEZ-A Ecological and Integrative Physiology* 329(89):457-464.
 126. Henderson PA & Southwood TRE (2016) *Ecological Methods 4th Edition.*: Wiley-

- Blackwell. p. 656.
127. Surman CA & Nicholson LW (2014) *The Integrated Shearwater Monitoring Project (ISMP): Annual Report for the 2013/14 Season. Unpublished report prepared for Apache Energy Ltd.* Halfmoon Biosciences. 47.
 128. Commonwealth of Australia (2010) *Survey guidelines for Australia's threatened birds Guidelines for detecting birds listed as threatened under the Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999* Australian Government: Canberra, Australia.
 129. Surman CA & Nicholson LW (2014) *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.
 130. van de Kam J, Ens B, Piersma T & Zwarts L (2004) *Shorebirds: an illustrated behavioural ecology.* Utrecht, the Netherlands: KNNV Publishers. p. 368.
 131. Colwell MA (2010) *Shorebird ecology, conservation, and management.* Berkeley, California: University of California Press. p. 344.
 132. Piersma T & Baker AJ (2000) Life history characteristics and the conservation of migratory shorebirds. In: *Behaviour and conservation*, Gosling LM & Sutherland WJ, Editors. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom, p:105-124.
 133. Cresswell W (1994) Flocking is an effective anti-predation strategy in redshanks, *Tringa tetanus*. *Animal Behaviour* 47(2):433-442.
 134. Battley PF, Warnock N, Tibbitts TL, Gill RE, Piersma T, Hassell CJ, Douglas DC, Mulcahy DM, Gartrell BD, Schuckard R, Melville DS & Riegen AC (2012) Contrasting extreme long-distance migration patterns in bar-tailed godwits *Limosa lapponica*. *Journal of Avian Biology* 43(1):21-32.
 135. Menkhorst P, Rogers D, Clarke R, Davies J, Marsack P & K. F (2017) *The Australian bird guide.* Clayton South, Victoria: CSIRO Publishing. p. 576.
 136. Commonwealth of Australia (2017) *EPBC Act Policy Statement 3.21—Industry guidelines for avoiding, assessing and mitigating impacts on EPBC Act listed migratory shorebird species* Australian Government: Canberra, Australia. 24.
 137. Bamford M, Watkins D, Bancroft W, Tischler G & J. W (2008) *Migratory Shorebirds of the East Asian-Australasian Flyway; Population Estimates and Internationally Important Sites: Wetlands International - Oceania:* Canberra, Australia. 249.
 138. Commonwealth of Australia (2015) *Wildlife Conservation Plan for Migratory Shorebirds.* Canberra: Australian Government. p. 32.
 139. McLaren JD, Buler JJ, Schreckengost T, Smolinsky JA, Boone M, van Loon E, Dawson DK & Walters EL (2018) Artificial light at night confounds broad-scale habitat use by migrating birds. *Ecology Letters* 21(3):356-364.
 140. Rogers DI, Battley PF, Piersma T, Van Gils JA & Rogers KG (2006) High-tide habitat choice: insights from modelling roost selection by shorebirds around a tropical bay. *Animal Behaviour* 72(3):563-575.
 141. Dwyer RG, Bearhop S, Campbell HA & Bryant DM (2013) Shedding light on light: benefits of anthropogenic illumination to a nocturnally foraging shorebird. *Journal of Animal Ecology* 82:478-485.
 142. Santiago-Quesada F, Estrella SM, Sanchez-Guzman JM & Masero JA (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.
 143. Lourenço PM, Silva A, Santos CD, Miranda AC, Granadeiro JP & Palmeirim JM (2008) The energetic importance of night foraging for waders wintering in a temperate estuary. *Acta Oecologica* 34:122-139.

144. Dias MP, Granadeiro JP, Lecoq M, Santos CD & Palmeirim JM (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.
145. Rogers DI, Piersma T & Hassell CJ (2006) Roost availability may constrain shorebird distribution: Exploring the energetic costs of roosting and disturbance around a tropical bay. *Biological Conservation* 133(2):225-235.
146. Conklin JR & Colwell MA (2007) Diurnal and nocturnal roost site fidelity of Dunlin (*Calidris alpina pacifica*) at Humboldt Bay, California. *The Auk* 124(2):677-689.
147. McNeil R, Drapeau P & Pierotti R (1993) Nocturnality in Colonial Waterbirds: Occurrence, Special Adaptations, and Suspected Benefits'. In: *Current Ornithology*, Power DM, Editor. Springer US: Boston, MA, p:187-246.
148. Rojas LM, McNeil R, Cabana T & Lachapelle P (1999) Diurnal and nocturnal visual capabilities in shorebirds as a function of their feeding strategies. *Brain Behavior and Evolution* 53(1):29-43.
149. Verheijen FJ (1985) Photopollution - artificial light optic spatial control systems fail to cope with incidents, causations, remedies. *Experimental Biology* 44(1):1-18.
150. Poot H, Ens B, Vries H, Donners MAH, Wernand MR & Marquenie JM (2008) Green light for nocturnally migrating birds. *Ecology and Society* 13(2):47.
151. Gauthreaux SA & Belser CG (2006) Effects of artificial night lighting on migrating birds. In: *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Rich C & Longcore T, Editors. Island Press: Washington, D.C., USA, p:67-93.
152. Depledge MH, Godard-Codding CAJ & Bowen RE (2010) Light pollution in the sea. *Marine Pollution Bulletin* 60(9):1383-1385.
153. Santos CD, Miranda AC, Granadeiro JP, Lourenço PM, Saraiva S & Palmeirim JM (2010) Effects of artificial illumination on the nocturnal foraging of waders. *Acta Oecologica* 36:166-172.
154. Longcore T, Rich C, Mineau P, MacDonald B, Bert DG, Sullivan LM, Mutrie E, Gauthreaux SA, Avery ML, Crawford RL, Manville AM, Travis ER & Drake D (2013) Avian mortality at communication towers in the United States and Canada: which species,