

La Luz Artificial Nocturna: Estado de la Ciencia 2025

DarkSky International
traducido por Ana Fernández Blanco

DOI: 10.5281/zenodo.15794592

Este informe resume el estado actual de la situación sobre cómo el uso generalizado y creciente de la luz artificial nocturna se relaciona con seis temas principales: el cielo nocturno (Sección 1); vida silvestre y ecología (Sección 2); salud humana (Sección 3); seguridad pública (Sección 4); seguridad energética y cambio climático (Sección 5); y justicia social (Sección 6). También incluye un análisis sobre la amenaza emergente de la contaminación lumínica causada por objetos en órbita a la Tierra (Sección 7). Finalmente, concluye con un análisis sobre las lagunas de conocimiento existentes en estos temas y las cuestiones que pueden suplir la carencia de conocimientos sobre ellos. (Sección 8). Está destinado para ser de utilidad a aquellas personas que buscan ampliar su comprensión sobre el estudio de las causas y consecuencias de la luz artificial nocturna.

Introducción

La luz artificial nocturna (en adelante, “ALAN”) en el medio ambiente exterior se encuentra en aumento tanto en presencia como en alcance a través de nuestro planeta (1–4). Es la fuente tanto de daños conocidos como posibles al medio ambiente nocturno (5–8). ALAN es ampliamente reconocida como la causa de la contaminación lumínica, una forma de contaminación ambiental (9, 10).¹ se enfoca en las consecuencias negativas de la ALAN. Estudios científicos sugieren que el uso excesivo de la ALAN es la fuente principal de contaminación lumínica (11, 12), sin embargo, la eficacia funcional de la iluminación exterior continúa siendo extremadamente baja (13). El mayor desafío identificado por la investigación científica consiste en cómo maximizar los beneficios humanos de la ALAN al mismo tiempo que se limitan sus potencialmente negativos impactos sociales y medioambientales (14–17).

¹ Aunque no existe una única definición de “contaminación lumínica” en la que todos los investigadores estén de acuerdo, existen algunas definiciones con amplia circulación. Dark Sky International la define como la “alteración humana de los niveles de luz exterior de aquellos que ocurren naturalmente”. (<https://darksky.org/resources/glossary/>) La definición de la Comisión Internacional de Iluminación (“la suma total de todos los efectos adversos de la luz artificial”; CIE S 017:2020 ILV: International Lighting Vocabulary, 2nd edition)

1 El Cielo Nocturno

La luz que se emite hacia el cielo nocturno dificulta ver las estrellas. En tierra, la ALAN hace que el medio ambiente nocturno sea más brillante. Cambios en el clima, como las nubes o la nieve en el suelo, pueden empeorar este impacto. Nuevas fuentes de luz accesibles como los diodos emisores de luz blanca (LEDs) tienen un impacto creciente tanto en el cielo nocturno como en los espacios abiertos nocturnos.

El síntoma más inmediato de la contaminación lumínica es el fenómeno del “brillo del cielo”. Ilumina el cielo nocturno en las ciudades y cerca de ellas donde existen grandes instalaciones de iluminación exterior. Ilumina el cielo nocturno en las ciudades y cerca de ellas donde existen grandes instalaciones de iluminación exterior. Parte de esa luz se escapa hacia la atmósfera, ya sea directamente o después de reflejarse sobre superficies terrestres (18, 19). A su vez, parte de esa luz es detectada por instrumentos a bordo de satélites en órbita a la Tierra (20, 21), pero muchos haces de luz encuentran moléculas y pequeñas partículas en la atmósfera a su paso. Estas interacciones redirigen las trayectorias de algunos de estos haces de luz de regreso al suelo. Allí los observadores ven la luz aparecer desde el propio cielo; vea Gráfico 1. El brillo del cielo compite con la débil luz de objetos astronómicos en el cielo nocturno. Reduce el contraste entre esos objetos y el cielo de fondo, haciendo difícil observarlos. (22). Esta es una amenaza importante para las observaciones astronómicas terrestres y la investigación (23, 24). También puede alterar el estado de polarización de la luz en el cielo nocturno. (25, 26). En la actualidad no hay parámetros categóricos para caracterizar la contaminación lumínica de uso generalizado entre investigadores y profesionales. (27, 28).

La medición y el seguimiento de la contaminación lumínica proporciona información importante sobre su extensión, su gravedad y tasa de variación. (29). Un crecimiento lento pero continuado del brillo del cielo en gran parte del mundo, conduce a una visibilidad gradualmente degradada del cielo nocturno natural y una transformación de los espacios abiertos. Semejante situación, cambiando lentamente a lo largo de décadas, puede pasar inadvertida debido a un

efecto psicológico conocido como “síndrome de línea de base cambiante” (30). Esto se aplica a varios aspectos de la luz artificial en una noche “normal”: el número de estrellas visibles, la cantidad de luz artificial asociada con la percepción de seguridad y la experiencia de los sentidos no visuales, como el oído y el equilibrio. Junto a otros efectos, la pérdida del cielo nocturno apenas se nota.

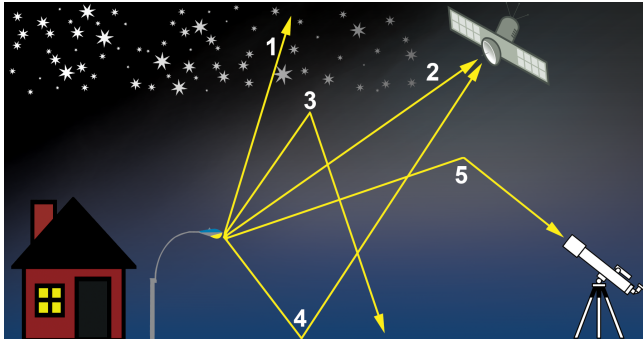


Figure 1. La luminaria a la izquierda emite luz en muchas direcciones distintas. Algunos de los haces de luz (1) viajan hacia el cielo y atraviesan la atmósfera terrestre. Los satélites detectan algunos de ellos (2) a su paso sobre el lado nocturno de nuestro planeta. En otros casos (3), la atmósfera dispersa estos haces de luz de regreso al suelo. Esta luz se convierte en el familiar “resplandor” observado sobre las ciudades. Ciertos haces de luz en su viaje descendente (4) se reflejan en el suelo hacia el cielo, donde son detectados por los satélites. Por último, algunos se dispersan hacia los telescopios de los astrónomos (5), obstruyendo su vista del universo. Crédito: DarkSky International.

Los científicos han estudiado también tanto las fuentes de la contaminación lumínica como los medios para reducir su influencia. En muchos lugares, las fuentes de luz de propiedad pública contribuyen en mayor medida al brillo del cielo nocturno, especialmente en las primeras horas de la noche (31–34). Ciertas propuestas, como poner pantallas a las luminarias y reducir su intensidad, parecen tener el mayor beneficio en términos de reducir el brillo del cielo nocturno (35, 36).

Teledetección de la contaminación lumínica

La teledetección consiste en un método para medir las propiedades de algo a distancia sin tomar muestras directamente. Con frecuencia se aplica a las mediciones de contaminación lumínica realizadas por globos sonda (37–40), aeronaves de vuelo a baja altura (41), vehículos aéreos no tripulados (o “drones”) (42–44), satélites en órbita a la Tierra (20, 45, 46) e incluso la Estación Espacial Internacional (47). En particular, los satélites nos brindan la única visión de la escala global del problema de la contaminación lumínica (1, 2). Las plataformas de teledetección más próximas a la superficie de la Tierra, mencionadas anteriormente, ofrecen información más detallada a escalas espaciales más precisas y sobre periodos de tiempo más largos.

El gráfico 2 muestra un mapa global de iluminación nocturna realizado por observaciones satelitales a distancia (48). Esta es una imagen compuesta de observaciones de la Tierra realizadas durante muchas noches en un año. Da la

apariencia de como si fuese simultáneamente de noche en todas partes al mismo tiempo. También se asegura de que el resultado no incluya nubes o luz de las auroras cerca de los polos terrestres. La cámara utilizada para realizar este mapa usa un detector sensible que graba luz tenue en el espectro visible. Puede distinguir detalles en la Tierra menores a un kilómetro. Esto es menor al tamaño de la mayor parte de las ciudades, por lo que las imágenes proporcionan información detallada sobre el número y las características de varias fuentes de luz en el suelo. Imágenes como esta, que datan desde los años 70, se encuentran disponibles para el público y la investigación científica (49).

En años recientes, los investigadores han aprendido mucho sobre la propagación de la contaminación lumínica alrededor del planeta mediante el estudio de los datos de teledetección. Hallaron que el brillo del cielo contamina el cielo nocturno para más del 80% de la población y más del 99% de las poblaciones estadounidense y europea (1). Ahora la ALAN llega a remotas partes del mundo, como el Ártico (50, 51).

Ambas, la cantidad de luz artificial detectada en la Tierra durante la noche y el área terrestre cubierta por luz, aumentaron un dos por ciento al año en promedio durante la primera mitad de la década de 2010. (Gráfico 3). Sin embargo, ambas cifras varían significativamente a través de nuestro planeta (52). Sólo hay unos cuantos países en los que parecen ser estables o estar en descenso (2, 53).

La teledetección satelital utilizada para realizar estudios como este no es perfecta. Por ejemplo, la luz dispersa (54) y las condiciones atmosféricas variables (55) pueden afectar negativamente sus cálculos. Así mismo, la insuficiente información sobre el color del alumbrado exterior se identifica como un problema (56). Las mejores cámaras satelitales disponibles no son sensibles a determinados colores de luz. En particular, algunas no ven la luz azul emitida por la iluminación de LED blancos. Esto significa que los indicadores clave de contaminación lumínica son probablemente subestimados. Las estimaciones del brillo del cielo nocturno realizadas desde tierra, respaldan esta hipótesis. Estos indicadores aumentaron en promedio a nivel mundial aproximadamente un 10% anual entre los años 2011-2022 (Gráfico 4) (4). También existen otras inquietudes relacionadas con la precisión de la información satelital utilizada en estos estudios. Estas incluyen el ángulo al que los satélites detectan la luz (57) y la hora a la que los satélites pasan sobre las ciudades durante la noche (58).

La combinación de los datos satelitales con las observaciones terrestres puede mejorar la fiabilidad de los resultados. (59, 60). Pero la necesidad de nuevos y especializados equipos para abordar importantes cuestiones de investigación, es urgente (61, 62). Esto es especialmente cierto dado que algunas misiones satelitales que observan la Tierra, como la misión Terra de la NASA, están programadas para finalizar en los próximos años.

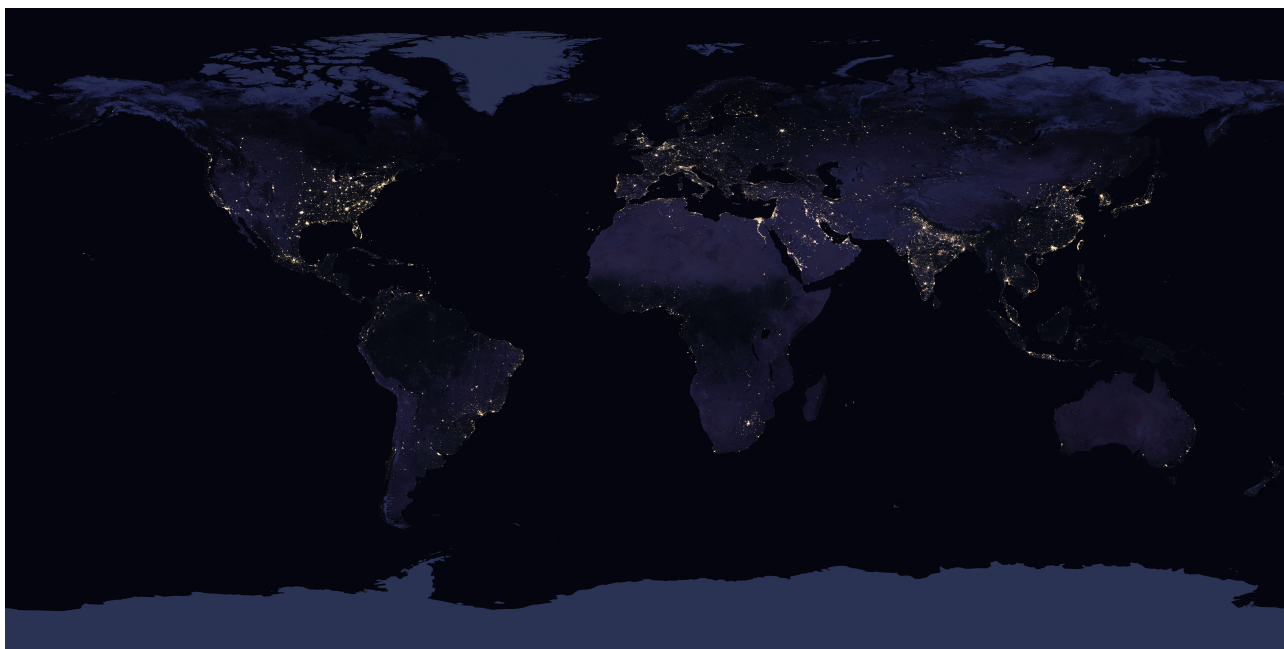


Figure 2. Una imagen compuesta libre de nubes de la Tierra durante la noche utilizando datos satelitales del año 2016. Crédito: NASA Earth Observatory/Goddard Space Flight Center/J. Stevens/M. Román (dominio público).

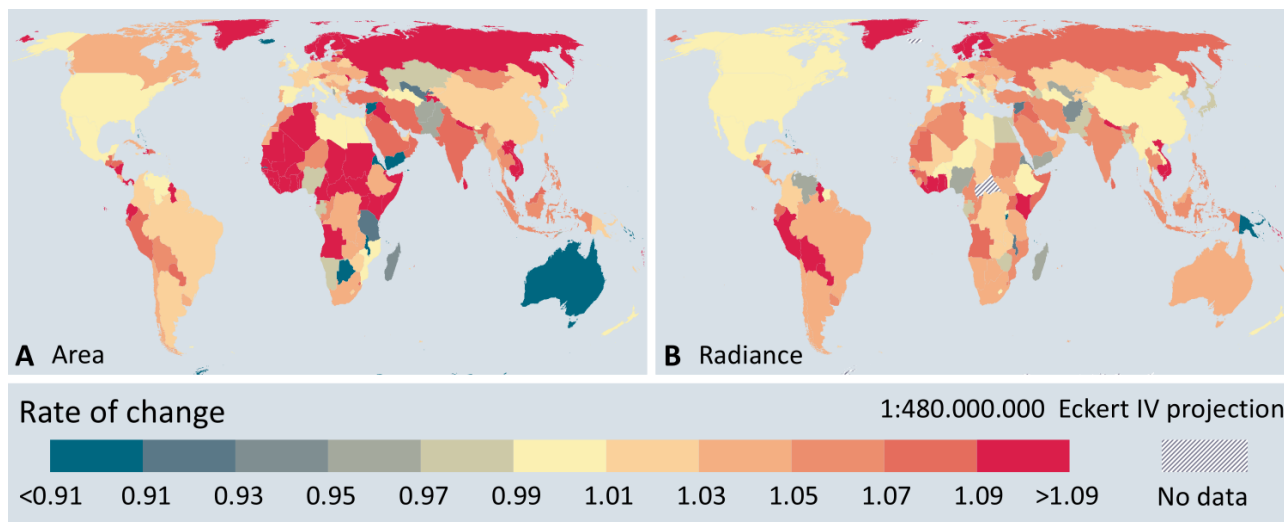


Figure 3. Este gráfico de referencia (2) muestra cómo las luces nocturnas en la Tierra cambiaron durante los años 2012-2016. El mapa en la izquierda indica el cambio en el área terrestre que da muestras de luz artificial vista desde el espacio, y el mapa a la derecha muestra cuánto cambió el brillo de la luz. Los colores rojos indican aumentos en el área iluminada y/o brillo durante el periodo de estudio y los colores azules indican descensos. Las áreas amarillas no sufrieron cambios. Esta imagen se ha reproducido bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 2.0

Condiciones medioambientales cambian la calidad del cielo nocturno

Las condiciones de nubosidad tienden a hacer el brillo del cielo más intenso en áreas urbanas y suburbanas. Esto es debido a que las noches nubladas pueden incrementar la intensidad de la luz reflejada de vuelta al suelo por diez veces (63, 64). Sin embargo, en áreas rurales con pocas fuentes de luz, la masa nubosa tiende a oscurecer el cielo nocturno (65). Esto se debe a que las nubes absorben y dispersan luz eficientemente, tanto de fuentes naturales como arti-

ficiales, reduciendo la cantidad de luz que llega al suelo. El brillo del cielo también es sensible a pequeñas partículas en el aire (66), y puede verse incrementado por la contaminación atmosférica (67, 68). La propia ALAN puede interactuar o interferir con la química de los gases en la capa baja de la atmósfera, potencialmente degradando la calidad del aire (69–72).

El hielo y la nieve empeoran el brillo del cielo porque reflejan mucha más luz que las superficies del suelo, más oscuras. Esto potencia las emisiones de luz nocturna prove-

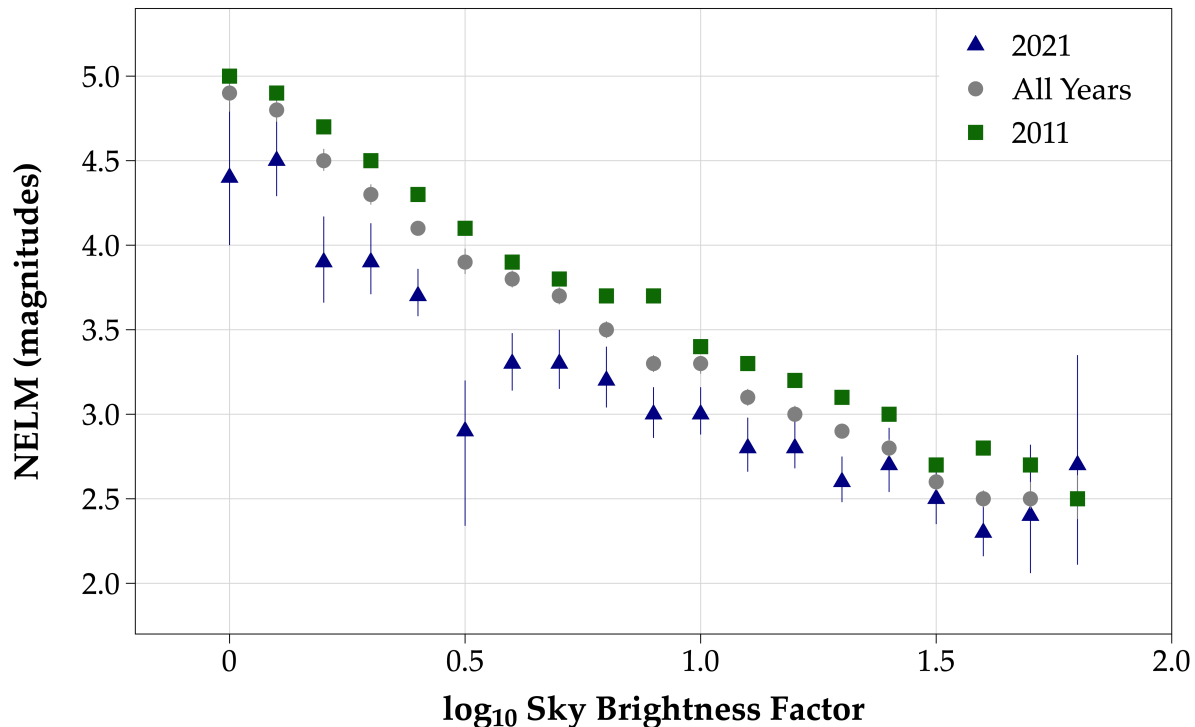


Figure 4. La relación entre la magnitud límite a simple vista (NELM), una medida del número de estrellas visibles en el cielo nocturno, y el brillo del cielo nocturno (“Factor de Brillo del Cielo”) a partir de observaciones de ciencia ciudadana obtenidas entre 2011 y 2021. Valores más altos de NELM significan que más estrellas son visibles. Los puntos corresponden a observaciones en los años 2011 (cuadros verdes) y 2021 (triángulos azules), así como al promedio de todos los años (círculos grises). Adaptado del Gráfico 1 en (4) y reproducido con permiso de los autores.

nientes de las ciudades (73). La capa de nieve en el suelo bajo condiciones de cielo despejado puede aumentar el brillo del cielo nocturno hasta tres veces (74). Cuando las nubes cubren el cielo en los meses de invierno, la luz reflejada tanto de la nieve como de las nubes “amplifica” el brillo del cielo. El resultado puede aumentar el brillo del cielo nocturno más de 3,500 veces comparado con condiciones de cielo cubierto sin luz artificial (75). Incluso con cielo despejado, la tendencia de las superficies del suelo como el asfalto y el hormigón de reflejar la luz, puede aumentar el brillo del cielo nocturno (76, 77).

El aumento de la iluminación de estado sólido puede amenazar el cielo nocturno

La contaminación lumínica global ha aumentado en años recientes debido en parte a la introducción de la iluminación de estado sólido (SSL). Este tipo de iluminación utiliza materiales semiconductores para generar luz. Difiere de tecnologías anteriores que usaban corrientes eléctricas en tubos de gases como el sodio de alta presión, el vapor de mercurio o el haluro metálico. Esas fuentes de luz previas dominaron una vez el mercado global de iluminación exterior.

El tipo de tecnología SSL más familiar es el diodo emisor de luz blanca, o LED. Esta tecnología representa ahora casi el 50% de las ventas globales en iluminación (78). El crec-

imiento explosivo del mercado de la iluminación en años recientes se debe en parte a la excepcional eficiencia energética de SSL. Mientras la sustitución directa de SSL ahorra energía comparada a tecnologías anteriores (con impactos beneficiosos; vea Sección 5), el ahorro de energía y el bajo coste de SSL pueden fomentar la sobre-iluminación. Para poder alcanzar la plena promesa de la SSL, factores como el espectro y la distribución de la fuente de luz deberían ser cuidadosamente diseñados (79).

La prisa acelerada para adoptar e instalar SSL ha cambiado el color de luz artificial emitida al medio ambiente nocturno (80, 81). La iluminación LED blanca generalmente emite luz en una longitud de onda mucho más corta (por ejemplo, azul) que otras tecnologías. Esto causa un cambio en el color de las ciudades al pasar a SSL (82). También puede empeorar el brillo del cielo sobre las ciudades, incluso cuando el número de lúmenes (la cantidad de luz a la que el ojo humano es sensible) utilizado es el mismo (83–86). Esto puede extender el impacto de las luces de la ciudad mucho más allá a áreas adyacentes, ecológicamente sensibles (87, 88). Específicamente, supone también una amenaza para la productividad de los observatorios astronómicos terrestres (23, 89, 90), que dependen de lugares con cielos oscuros para producir nuevos conocimientos sobre nuestro universo. Sin embargo, las características de iluminación

LED pueden facilitar su uso más eficiente, a menudo precisando menos luz para las mismas aplicaciones que tecnologías anteriores (91). Cuando las ciudades planifican la actualización a LED con cuidado, pueden contener la contaminación lumínica con firmeza, o incluso reducirla. (92–94).

Conservación de cielos oscuros y astroturismo

Entretanto, la actual conversión de la iluminación exterior mundial a SSL y su potencial para incrementar el brillo del cielo, puede contrarrestar los objetivos de conservación de paisajes con cielos oscuros. El interés público por visitar lugares naturalmente oscuros se encuentra en aumento (95, 96). Esto ha creado una nueva clase de “astroturismo” (97, 98) con un potencial significativo para generar ingresos (99). Esto, a su vez, puede (o no) fomentar prácticas de iluminación y políticas públicas que protejan los cielos oscuros (100–102). También cuestiona qué define un “cielo oscuro” (103) y cómo debería ser cuantificado (104, 105). Además, requiere comprender cómo medir o describir la oscuridad de la noche para su mejor conservación (22, 106). La evidencia limitada sugiere que las iniciativas que reconocen el valor de los cielos oscuros y apoyan su conservación pueden tener beneficios positivos en la reducción del brillo del cielo a escalas regionales (107).

2 Impactos Ecológicos

La exposición a ALAN afecta a casi todas las especies estudiadas por los científicos. Interfiere con su biología y cambia cómo interactúan con el medio ambiente. Esto daña los ecosistemas y puede hacer a plantas y animales menos resistentes frente al cambio medioambiental.

Los organismos cerca o en la superficie de la Tierra experimentan niveles naturales de luz que varían por un factor de más de mil millones (Gráfico 5). La salida y puesta del Sol y la Luna determinan los niveles de luz y el momento y duración de la exposición a la luz. Son las fuentes más importantes de luz en el medio ambiente natural y establecen señales que las especies buscan a su alrededor. Esto les dice cuándo participar en ciertos comportamientos como encontrar alimento y pareja.

Algunas especies dependen de fuentes de luz natural muy tenue, como la luz de las estrellas, para su orientación y navegación (109, 110). La luz artificial puede alterar las actividades de estas especies (111). Sus comportamientos evolucionaron a lo largo de miles de millones de años en la presencia de tan solo fuentes de luz natural en la noche.

Escala de los impactos de la ALAN en la vida silvestre

Los científicos han estudiado al menos 160 especies en relación a los efectos producidos por la exposición a ALAN. Han observado daños a niveles desde plantas y

animales individuales hasta poblaciones completas (112–115). Casi todos los seres vivos reaccionan ante la luz artificial. Se han visto efectos entre aves (116–119); peces (120); mamíferos (121–123); reptiles (124–126); anfibios (127–129); insectos y otros invertebrados (130–133); moluscos (134, 135); plancton (136, 137); microorganismos (138, 139) y plantas (140–143). Se observan efectos particularmente en medios acuáticos (144, 145), incluyendo desde los océanos mundiales (146–150) a las profundidades de cientos de metros (151).

La presencia de ALAN trastoca la intensidad de la luz natural, su horario y características de color (152). Aumenta la intensidad de luz total relativa a los niveles naturales y tiende a desplazar el espectro de la luz ambiental lejos de su condición natural (153). Una exposición a la luz en mal momento interrumpe varias actividades biológicas en plantas y animales (154). Estas actividades dependen de los ritmos estacionales de exposición a la luz en el medio ambiente. Algunos ejemplos incluyen la búsqueda de alimento (155–158); la hora a la que ciertos animales emergen por primera vez de sus escondites (159, 160); reproducción animal y vegetal (121, 161–163); secuencia de eventos estacionales en plantas (164); migración animal (165, 166) y comunicación (167–169). Todos estos efectos pueden dificultar la supervivencia y reproducción de los organismos (170). Incluso puede tener influencia en cómo las especies se adaptan y evolucionan (171–174). Esto se añade a otras presiones medioambientales que enfrentan las especies, como la pérdida de hábitat y el cambio climático (175–177).

La exposición a la luz artificial parece debilitar el sistema inmunológico para algunos organismos (178–180). Puede hacerles menos resistentes frente al estrés medioambiental (181, 182). Los progenitores pueden pasar esa debilidad a sus vástagos (183, 184). La exposición a la ALAN, por lo tanto, deja a algunas especies más vulnerables tanto a predadores (185, 186) como a parásitos (187, 188). Los científicos también han hallado que la exposición a la luz tiene lugar, con frecuencia, junto al ruido ocasionado por la actividad humana (189). La combinación de luz artificial y ruido puede perjudicar aún más a algunas especies (190–193).

Cómo la luz afecta a la biología

La luz tiene dos tipos de efectos en plantas y animales: interna (a través de la fisiología) y externa (a través de las interacciones con el medio ambiente y otras especies). Los efectos fisiológicos de la exposición a ALAN incluyen la alteración de señalización química normal en organismos (195, 196). Esta señalización se relaciona con el ritmo circadiano, un ciclo de aproximadamente 24 horas de actividad asociado con la duración del día. La exposición a la luz solar, seguida de muchas horas de oscuridad, establece una señal ambiental. Esto ayuda a “sincronizar” el ritmo circadiano cuando el periodo del ritmo difiere de la duración del día. La exposición a la luz artificial, que en ocasiones entra en conflicto con estas

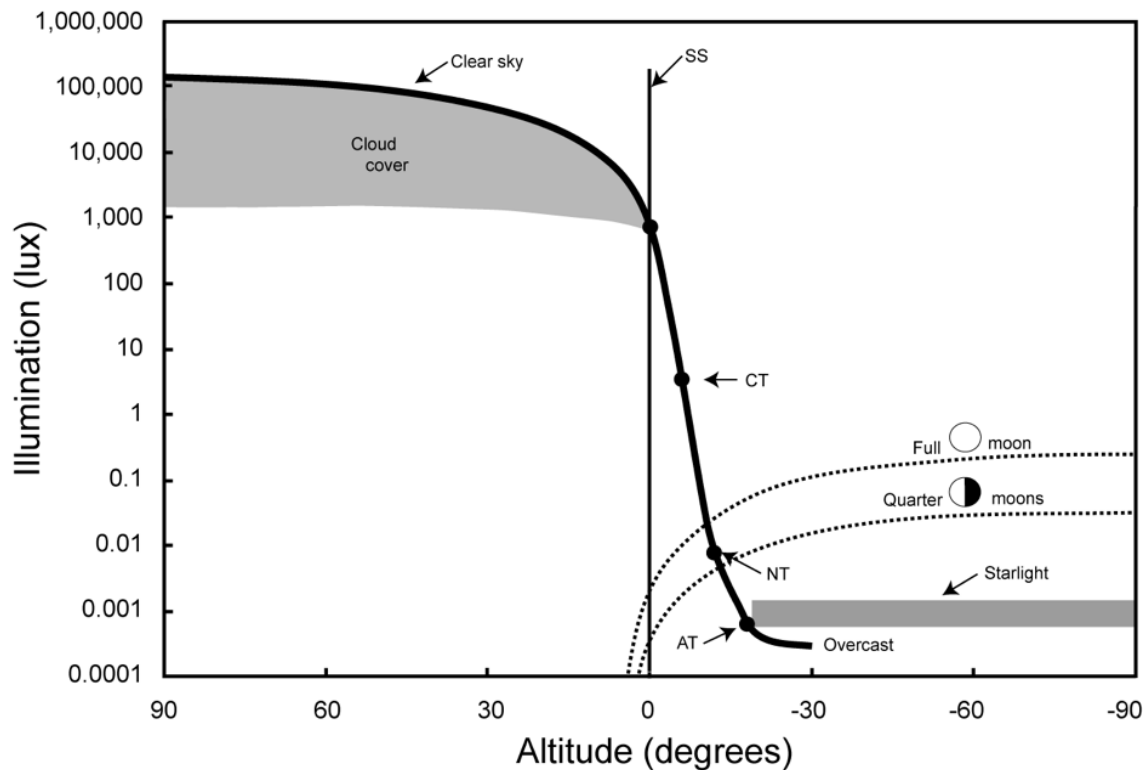


Figure 5. Iluminación natural durante el día y la noche. La línea negra sólida es la cantidad de luz que cae sobre superficies cerca del suelo. Se indican algunas horas: SS = puesta de Sol (cuando el ángulo de la luz solar sobre el horizonte alcanza 0°); CT = fin del crepúsculo civil (ángulo del Sol = -12°); NT = fin del crepúsculo náutico (ángulo del Sol = -18°); AT = fin del crepúsculo astronómico (ángulo del Sol = -24°). Observen que los incrementos en el eje vertical aumentan en factores de diez. El eje horizontal muestra el ángulo del Sol por encima o debajo del horizonte. Las líneas de puntos muestran la iluminación de la Luna en su fase llena y en cuartos. La nubosidad reduce el brillo del suelo por la cantidad en la zona sombreada en el lado superior izquierdo. La zona sombreada a la derecha inferior es el aporte de la luz de las estrellas bajo cielos claros. Adaptado de (108); gráfico cortesía de T. Longcore.

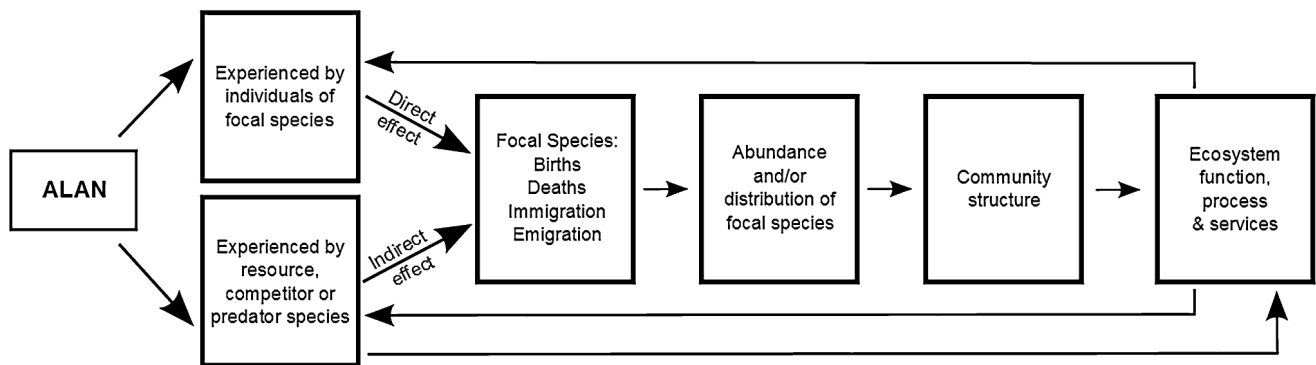


Figure 6. Rutas por las que la exposición a la ALAN puede influir en las interacciones entre distintas especies. El gráfico muestra algunas de las consecuencias ecológicas de esas interacciones. Gráfico 7 en (194), reproducido bajo una licencia Creative Commons Attribution 3.0 Unported.

señales naturales, puede interferir con esta sincronización.

Además, algunas especies muestran sensibilidad a la polarización de la luz (197–199). La polarización se refiere al plano en el que viajan las ondas de luz. La luz se puede polarizar por reflexión desde superficies como el agua, lo que presenta un desafío especial para especies acuáticas cerca de fuertes de ALAN (200–202). La ALAN puede contaminar la señal de polarización de fuentes de luz natural (203), lo que puede confundir a algunos animales. El ejemplo de los

efectos de la polarización muestra que cuando se evalúan los impactos de la ALAN en la vida silvestre, debemos mirar además a factores como la intensidad, el espectro, la duración y momento de la exposición a la luz. (204, 205).

La modificación de espacios exteriores nocturnos mediante la exposición de especies a luz artificial, causa efectos medioambientales (6). Existen algunas fuentes de luz natural en el medio ambiente nocturno además de la Luna y las estrellas (22). Esta luz dominó el entorno durante miles de

millones de años, hasta la invención de la luz eléctrica. La ALAN puede, por lo tanto, presentar una desventaja para las especies que evolucionaron en un mundo sin luz artificial. Por consiguiente, representa una presión emergente en poblaciones y comunidades de especies (206–208).

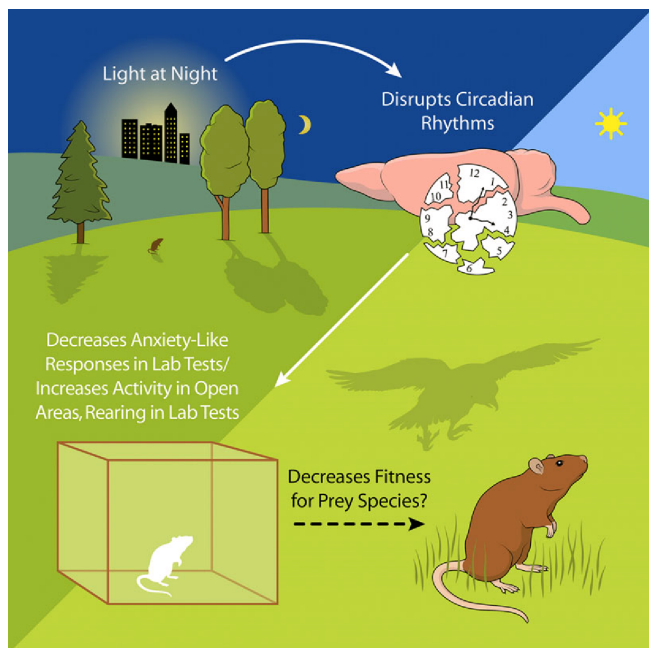


Figure 7. Una representación gráfica muestra cómo la exposición a ALAN puede hacer que las especies presas sean más vulnerables a los depredadores en el mundo silvestre. En pruebas de laboratorio con roedores, la ALAN interfiere con los procesos de señalización que comienzan en la glándula pineal del cerebro. Esta interferencia reduce aparentemente las respuestas de ansiedad, como la actividad en espacios abiertos y comportamientos como erguirse sobre las patas traseras, que podrían aumentar su visibilidad hacia los depredadores. Gráfico 1 de (209), reproducido con permiso de los autores.

Los cambios profundos provocados por la ALAN tienen muchos efectos observados sobre los ecosistemas (Gráfico 6) (194, 210). Por ejemplo, la exposición a ALAN puede cambiar la interacción entre especies depredadoras y sus presas (Gráfico 7) (211–214). Esto debilita las cadenas alimentarias (215, 216) y puede hacer que la vida salvaje sea susceptible a otros daños medioambientales (217–219), y puede hacer que la vida salvaje sea susceptible a otros daños medioambientales (155, 156, 220) y alterar cómo los individuos encuentran pareja y se reproducen (221–224).

La ALAN puede crear una barrera efectiva en el medioambiente para el movimiento de los organismos. Interfiere con las capacidades de los organismos para orientarse y desplazarse (118, 225, 226). La ALAN también altera la competencia por los recursos entre especies al incluir especies, o excluirlas, de sus hábitats, basándose en su tolerancia a la exposición (227–229). Algunas veces los animales evitan áreas iluminadas por otras más oscuras (230), y la ALAN puede ocultar barreras que pueden herir o acabar con la vida de individuos (231, 232). También puede causar *fototaxia*, una condición por la cual los organismos tienden a moverse, bien

hacia la luz (fototaxia positiva) (219, 233, 234) o a alejarse de la luz (fototaxia negativa) (235, 236). La fototaxia es causa de lesiones y mortalidad tanto entre aves como insectos (237–239).

La ALAN es una de las amenazas más apremiantes e inminentes para la biodiversidad global (240–242). Estudios sugieren claros impactos en las poblaciones de vida silvestre debidos a luz artificial, incluso de exposiciones indirectas (243). En particular, algunos tipos de iluminación exterior afecta negativamente a la biología de la vida silvestre (244). En algunos casos, la iluminación puede aportar ventajas a especies invasoras (245, 246), ayudándolas a competir contra las especies nativas. En otros, la contaminación lumínica se combina con otros tipos de cambios medioambientales para producir un daño aún mayor a las especies (247).

No obstante, los impactos biológicos de las fuentes de luz artificial aún se refieren principalmente a los referentes a la visión humana. Nuestra comprensión del impacto de la luz artificial sobre las especies más allá de nosotros mismos se encuentra entorpecida por la convención de medir la luz en referencia a la visión humana. Los científicos subrayan la necesidad de tener en cuenta los diferentes sistemas visuales de los animales en comparación con los humanos (153, 248). Han exhortado a tomar consideraciones ecológicas en el diseño de la iluminación exterior (249) y una “infraestructura oscura” para preservar la diversidad de especies (250). Experimentos precoces con el diseño mejorado de iluminación exterior para incrementar la disponibilidad ecológica de la oscuridad, muestran resultados prometedores (251). Dichos experimentos pueden sugerir también mejoras para el diseño y operación de iluminación exterior, destinadas a reducir el impacto de la ALAN en las especies. (252) Pero sigue dándose el caso de que no hay fuente de ALAN que sea completamente segura para la vida silvestre (253). Y no sabemos si las prácticas de iluminación “sostenibles” realmente reducen el daño a la vida silvestre (254).

La ALAN es probablemente responsable de la muerte de millones de aves e insectos cada año. En los siguientes apartados, nos enfocamos en estas dos clases de animales.

Aves migratorias

Aunque la mayor parte de las aves migratorias se orientan mediante la detección del campo magnético de la Tierra (255), muchas especies dependen también de señales luminosas en el entorno. Algunas utilizan estas indicaciones para “calibrar” su sensibilidad magnética (256, 257). La exposición a la luz artificial interfiere con este comportamiento, con la luz roja alterando su orientación magnética más que la luz azul (258, 259).

La fototaxia positiva es de particular inquietud para la conservación de las aves migratorias. La luz brillante en las ciudades puede convertirse en un reclamo para algunas especies, alejándolas de sus rutas migratorias (260, 261). Los

elementos que emiten luz verticalmente parecen tener el efecto más fuerte (262), pero incluso la iluminación “amistosa con el cielo nocturno” atrae aves en la noche (263). La atracción a la luz puede ser letal ya que favorecen las colisiones entre aves y ventanas (264). Y las aves que se alejan de sus rutas migratorias y se acercan a las ciudades debido a la ALAN sufren una mayor exposición a la nociva contaminación del aire (265, 266).

La ALAN puede afectar negativamente la distribución de aves a determinados puntos a lo largo de las rutas migratorias donde las aves se detienen a descansar y alimentarse (267). La presencia de ciudades iluminadas a lo largo de esas rutas ocasiona que las aves vuelen más alto que en áreas más rurales (268). Iluminación muy brillante puede atraer a tantas aves que las instalaciones de radar meteorológicas pueden detectarlas (261). Este dato se utiliza ahora para medir el alcance de atracción de las aves por fuentes de luz brillante a escala de paisaje. Los científicos encuentran que apagar las potentes fuentes de luz periódicamente durante la noche puede reducir este efecto al dar oportunidades de escapar a las aves atrapadas por la fototaxia positiva (269).

Insectos polinizadores

Los ecologistas han estudiado el papel que varias especies juegan en proporcionar lo que ahora se llaman “servicios ecosistémicos”. Estos son beneficios que reciben los humanos del medio ambiente natural. Un ejemplo de un servicio ecosistémico crítico para el bienestar humano es la polinización de los cultivos por los insectos. Muchos de estos insectos tan sólo se encuentran activos durante la noche (270). Algunas especies parecen polinizar solo bajo condiciones de luz tenue y natural, como la luz de la luna (271). La ALAN puede ocasionar cambios en el movimiento de los insectos y hacer a las especies más vulnerables a los depredadores (272). La ALAN puede, por lo tanto, reducir el valor económico de sus servicios ecosistémicos (273).

La ALAN parece perjudicar como mínimo a algunas especies polinizadoras (274–278), conduciendo a la posible pérdida de diversidad de especies (279). Esto, a su vez, podría reducir el rendimiento de los cultivos (280) y amenazar el suministro de alimento en algunos casos (281). Incluso puede contribuir al declive significativo de la población entre polinizadores que algunos han llamado el “apocalipsis de los insectos” (282–284).

Los científicos encuentran efectos de muchos tipos de iluminación exterior, incluyendo aplicaciones comunes como el alumbrado público (285, 286). En al menos algunos casos, el color de la luz puede afectar a los polinizadores nocturnos (287). Mientras que algunos polinizadores pueden simplemente buscar lugares más oscuros, podrían hallar condiciones menos apropiadas (288). Se necesita más trabajo para establecer firmemente la importancia de la amenaza y qué cambios en la iluminación tienen las mayores mejoras para los polinizadores.

3 Salud Humana

La evidencia científica establece un nexo entre la exposición a ALAN y las consecuencias negativas en la salud humana. Estas incluyen alteraciones en la señalización química en el organismo, ciertos tipos de cambios a nivel genético, y cambios en los ciclos sueño/vigilia establecidos por fuentes de luz natural. Estos efectos pueden contribuir a la incidencia de ciertas enfermedades crónicas en algunas personas. Estas conclusiones proceden en mayor medida de estudios de control de exposiciones a iluminación interior, sugiriendo precaución en la interpretación de la influencia de la iluminación externa en la salud.

La conexión luz-melatonina

La relación exacta entre la exposición a la ALAN externa y la salud y bienestar humanos, es controvertida. Replicar las condiciones de entornos urbanos y utilizar participantes humanos, es difícil de lograr en la práctica. Esto lleva a los científicos a depender de estudios de laboratorio llevados a cabo en ciertos animales, como ratas y ratones, que sirven como modelos bien conocidos de la biología animal en general. En estos estudios, la exposición a la ALAN tiene efectos sobre el ciclo de vida completo, desde la infancia (289–291) y la adolescencia (292–294) hasta la edad adulta (295–297).

En particular, estos efectos parecen ser consecuencia de luz de longitud de onda corta (“azul”). Mientras que la exposición a la luz azul es importante para un funcionamiento circadiano saludable (298), la exposición a esta luz en la noche puede alterar el ritmo circadiano. Esto puede afectar a todo, desde la hora a la que se liberan hormonas en el cuerpo (299), a la duración y calidad de nuestro sueño (300, 301), incrementando la inflamación sistémica (302, 303) y derivando potencialmente en resultados negativos para la salud (304, 305). La importancia de estos efectos depende de la intensidad de la luz, la proporción de luz azul y la hora y duración de la exposición. La investigación apunta ahora a estrategias de iluminación que pueden reducir el impacto de la ALAN en los ritmos circadianos (306).

La exposición a luz a horas inapropiadas durante las 24 horas del día, retrasa o impide la secreción de melatonina (307). Este potente antioxidante es una hormona que interactúa con el sistema inmunológico (180, 308). La luz artificial de baja intensidad puede suprimir la producción de melatonina (309). Tan sólo 5 lux de luz pueden producir este efecto en algunas personas particularmente sensibles (310, 311). Tan sólo 5 lux de luz pueden producir este efecto en algunas personas particularmente sensibles. 5 lux son unas 50 veces más brillantes que la luz de la luna llena y 100 veces menos intensa que la cantidad de luz en el entorno luminoso de una oficina interior. En otro estudio llevado a cabo bajo varias exposiciones de alumbrado público, el espectro de la fuente de luz no arrojó un impacto aparente sobre los niveles de melatonina en la saliva de su-

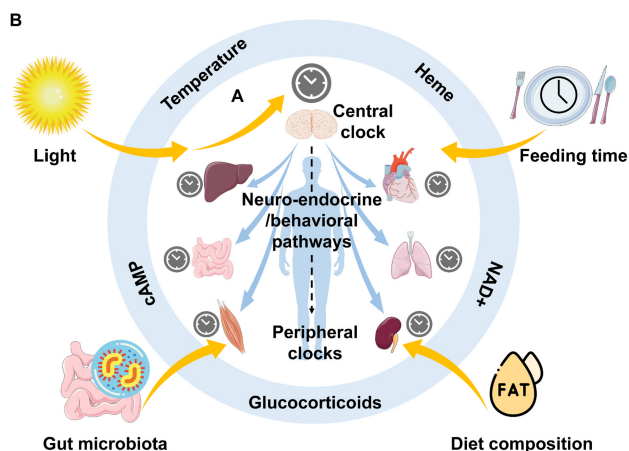


Figure 8. Representación gráfica sobre cómo el cuerpo humano regula el ritmo circadiano. El sistema de “relojes” internos (al interior del círculo azul) se designa “A”, e influencias externas que afectan a los relojes están etiquetadas como “B”. En A, el reloj principal en el cerebro se ajusta por la exposición a la luz. El cerebro, a su vez, configura los relojes periféricos en varios órganos a través de señales nerviosas y endocrinas. Factores externos (B), los cuales incluyen señales metabólicas, pueden manipular aún más los relojes periféricos. Gráfico 2 en (305), reproducido bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0.

jetos sanos (312). Otros estudios que analizan los efectos de la exposición a la ALAN producidos por el uso de pantallas electrónicas en la noche, han hallado que el retraso en la secreción de melatonina tiene solo una influencia menor en la demora del inicio del sueño, con un efecto más significativo atribuido a la necesidad emocional de conexión a través del “tiempo de pantalla” del dispositivo (313). Se necesitan más estudios para determinar las exposiciones cuantitativas de ALAN que podrían resultar en resultados negativos para la salud.

La producción de melatonina varía durante las 24 del día. Los científicos intuían que debe haber alguna forma por la cual el cuerpo percibe la luz en el entorno. Sospechaban que podría no estar relacionado con nuestro sentido de la vista formador de imágenes. En 2001, el profesor George Brainard y sus colegas descubrieron la pieza faltante del puzzle. Hallaron evidencia de un mecanismo químico en células sensibles a la luz en la retina que asocia la exposición a la luz con el sistema que regula el ritmo circadiano (314). Este mecanismo implica una sustancia llamada melanopsina que es muy sensible a luz azul (315).

La melanopsina se produce en células especializadas llamadas células ganglionares intrínsecamente fotosensibles de la retina (316). La melanopsina se produce en células especializadas llamadas células ganglionares intrínsecamente fotosensibles de la retina. Estas células son especialmente sensibles a la luz azul y envían señales al sistema circadiano principal del “reloj” en el cerebro. Esto establece una referencia temporal para otros “relojes” similares en varios órganos y sistemas del cuerpo. (Gráfico 8). Esos relojes, a su vez, rigen diversas actividades biológicas (317, 318). La

exposición a la ALAN puede producir que el reloj principal pierda la sincronización con el patrón natural del día de 24 horas (319). Las consecuencias de estos reajustes aún no se conocen por completo. Y algunos de los relojes periféricos parecen ser sensibles a luz por sí mismos, independientes del cerebro (320).

Aún más, ahora se reconoce que la exposición a la luz produce cambios a nivel de nuestro código genético. Aunque no se conoce que altere nuestro ADN, la molécula que define la secuencia de ese código, la luz puede causar cambios “epigenéticos” en humanos (322, 323). Estos cambios “encienden” y “apagan” los genes, modificando sus roles habituales. Algunos de esos genes están relacionados con la función de nuestros relojes circadianos. Los cambios epigenéticos en esos genes parecen incrementar los riesgos de algunos tipos de cáncer (324), particularmente el cáncer de mama (325, 326).

Consecuencias de la exposición frecuente a ALAN

La exposición a ALAN juega un papel importante en el comportamiento y la biología humana (327). Incluso breves exposiciones durante ciertas fases del sueño pueden producir efectos cuantificables (328). La exposición frecuente a luz excesiva durante la noche puede ser un factor de riesgo emergente en nuestro estilo de vida junto a otros asociados con el trabajo por turnos, contribuyendo a varios problemas de salud (329). Estos incluyen la obesidad (330–332); la diabetes (333–335); la enfermedad cardiovascular (336, 337); el deterioro de la vista (338, 339); una fertilidad deteriorada (340–342); desórdenes endocrinos (343); enfermedades alérgicas (344); y ciertos tipos de cáncer (345–348) como el cáncer de mama (349–351), pulmón (352), tiroides (353), próstata (354–356) y piel (357).

La exposición a la ALAN también parece fomentar la propagación más agresiva de algunos tipos de cáncer (358). Puede hacer que el cáncer sea resistente incluso a las mejores opciones disponibles de terapias farmacológicas (359) y debilitar los mecanismos de auto-reparación del organismo (360). La ALAN puede combinarse con otros factores medioambientales como la contaminación del aire para incrementar la incidencia de patologías (361).

Algunos estudios encuentran fuertes correspondencias entre las evidencias de ALAN de datos satelitales y la incidencia de cáncer (362–364) y diabetes (365), señalando la exposición a luz exterior como un factor. Aún así, los críticos advierten sobre la fiabilidad del uso de información satelital para predecir exposiciones a ALAN relacionadas con enfermedades (366). Esto puede causar que los resultados de los estudios sean menos fiables debido a que las medidas satelitales son sólo estimaciones en bruto de la cantidad real de ALAN proveniente de fuentes externas. Otros estudios encuentran poca o ninguna evidencia de conexión entre la exposición a ALAN exterior y el cáncer (367–369). En algunos casos, los efectos aparentes pueden ser fortuitos (370).

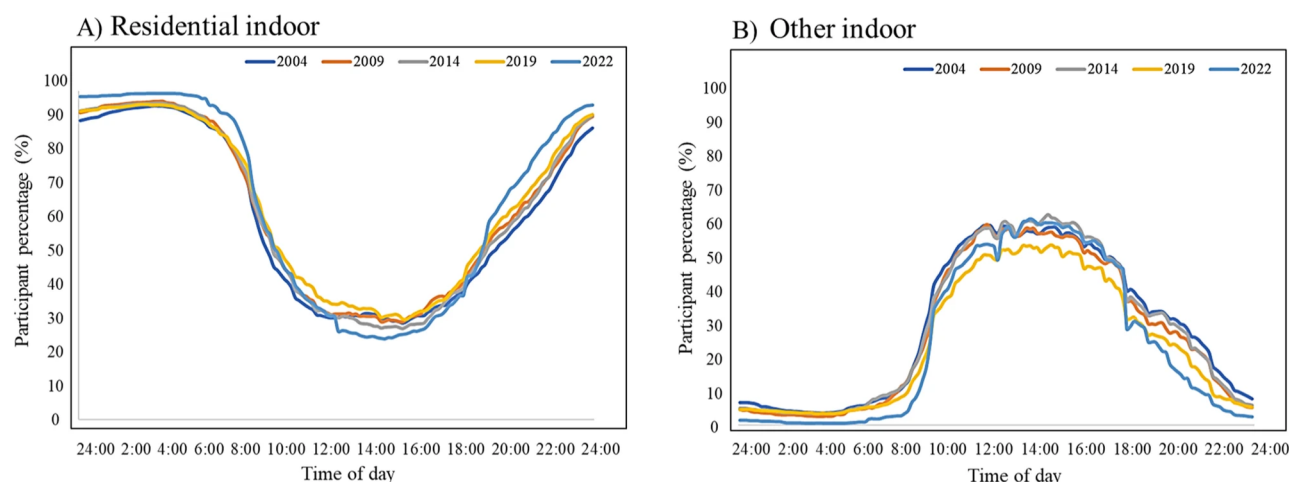


Figure 9. Perfiles de tiempo-ubicación de 12,776 adultos encuestados en Seúl, Corea del Sur, de 2004 a 2022. Las curvas muestran el porcentaje de encuestados que reportan encontrarse en interiores en contextos residenciales (A) y no-residenciales (B) en los horarios indicados. Durante las horas nocturnas, la ocupación de los espacios interiores se acerca al 100%. Gráfico 1 en (321), reproducido bajo licencia Internacional de Atribución 4.0 de Creative Commons.

Una forma más común de la exposición a ALAN que desencadena efectos en los humanos es causando insomnio (371, 372). La producción de melatonina y los ciclos de sueño y vigilia siguen uno a otro. La exposición crónica a ALAN asociada con el trabajo por turnos puede producir que estos dos ciclos se disocien (373). El resultado es con frecuencia una mala calidad de sueño y una duración de sueño reducida (374). Muchas consecuencias sociales y de salud se encuentran asociadas con insomnio frecuente (375, 376), planteando una amenaza tanto para la salud pública como para la seguridad de los trabajadores y la productividad (377, 378). Una gestión apropiada de la exposición a la luz durante la noche en los entornos de trabajo puede reducir estos efectos (379).

Influencias sobre los resultados de salud

Los profesionales de la salud reconocen ahora los roles que la luz y la oscuridad tienen en la recuperación. La exposición a ALAN es un indicador de mortalidad de todo tipo de causas (380). Puede retrasar o impedir la recuperación de un accidente cerebrovascular (381, 382), endurecimiento de las arterias (383), endurecimiento de las arterias (384), e inflamación de todo el organismo (385, 386). Controlar la exposición a la ALAN en lugares como hospitales, tiene como resultado mejores resultados para la salud (387–389), sugiriendo la necesidad de un diseño de iluminación más enfocado en instalaciones sanitarias (390). El crecimiento de la iluminación exterior puede estar propiciando la propagación de enfermedades infecciosas (391, 392). También puede crear las condiciones para que emerjan nuevas y devastadoras enfermedades, como el COVID-19 (393, 394).

Otros estudios identifican la ALAN como un factor en el proceso normal de envejecimiento (395). La exposición a la luz durante la noche y la frecuente interrupción del ritmo circadiano se relacionan con trastornos men-

tales (396–401), señalización entre nervios incorrecta (402), y la aparición de ambos, demencia (403–405) y enfermedad de Alzheimer (406, 407). También puede desempeñar un papel en la incidencia de autismo (408, 409). Los bebés nacidos de algunas mujeres embarazadas expuestas a ALAN sufren de ciertos defectos de desarrollo (410, 411). Por otro lado, limitar la exposición a la luz durante la noche ayuda a mantener un ritmo circadiano normal. Puede prevenir algunas anomalías que pueden provocar enfermedades (412).

A pesar de que sabemos mucho sobre cómo la ALAN interactúa con nuestra salud, nuestro conocimiento es incompleto. Actualmente no es posible conectar directamente la exposición a la luz *exterior* nocturna con la incidencia de enfermedades en individuos. Muchos de los estudios referidos anteriormente se llevaron a cabo bajo condiciones de iluminación *interior*. La mayor parte de las personas en economías industrializadas pasan la mayor parte de las horas nocturnas en interiores. (Gráfico 9) (321, 413, 414), donde la exposición a ALAN es mucho mayor que en exteriores. Por esta razón, se recomienda que la exposición a la luz de interiores durante la noche sea minimizada.

4 Seguridad Pública

La creencia de que la iluminación exterior mejora la seguridad del tráfico y desalienta o previene la delincuencia, es común. Puede explicar en parte el rápido crecimiento en el uso de luz exterior durante la noche en años y décadas recientes. Hay casos en los que la cuidada aplicación de la iluminación exterior puede mejorar la seguridad nocturna, pero no hay un beneficio general respaldado por evidencia científica.

Traffic and pedestrian safety

Existen muchos resultados de investigación contradictorios sobre este tema. Algunos estudios encuentran que añadir iluminación a espacios exteriores, reduce las colisiones viales (415, 416) e incluso recomiendan niveles específicos de iluminación basándose en los resultados de experimentos de campo (417). Otros no encuentran efecto alguno (418, 419), o resultados son poco concluyentes (420, 421). Algunos investigadores se preguntan si la reducción de la iluminación exterior en áreas propensas a accidentes de tráfico conduce a resultados más pobres. Ha surgido poca evidencia que respalde esta hipótesis (422).

Los estudios sobre el tráfico son difíciles de diseñar y están, por lo tanto, sujetos a las críticas (423). En particular, es difícil tener en cuenta adecuadamente todas las variables que podrían alterar los resultados. Por ejemplo, un estudio de seguridad vial sobre iluminación podría fracasar en tener en cuenta los cambios en el volumen del tráfico a lo largo de la noche. Algunas variables pueden tener una mayor influencia sobre las observaciones que los cambios en la iluminación. Algunas veces, efectos sutiles se suman y dan lugar a resultados importantes. Puede resultar fácil atribuir la responsabilidad a la iluminación, aunque haya contribuido muy poco. Como resultado, muchas de las afirmaciones sobre la iluminación exterior y su impacto en la seguridad vial, para bien o para mal, pueden ser fundamentalmente erróneas (424, 425).

Los científicos no han podido modelar de manera predictiva la forma en la que la iluminación exterior podría afectar a la seguridad pública. Esta es una razón por la cual es difícil establecer la importancia de la iluminación en los estudios. No hay una relación “dosis-respuesta” claramente conocida que pueda predecir niveles de iluminación apropiados (426). En otras palabras, incluso si la iluminación tiene una influencia sobre los resultados, los científicos no pueden determinar cuánta luz es necesaria.

Los estándares de iluminación internacionales a menudo no establecen claramente puntos de referencia para la cantidad de luz nocturna que conductores y peatones necesitan partiendo de evidencia científica (427). Sólo hay unos cuantos casos en los cuales el asunto ha sido estudiado rigurosamente, p.ej., (91), y no está claro si los resultados son aplicables universalmente. Los tomadores de decisiones, desde funcionarios electos a diseñadores de iluminación, a menudo sustituyen su intuición ante la falta de dirección. En la creencia de que más de algo siempre es mejor, con frecuencia especifican demasiada luz en relación a las necesidades reales.

Iluminación Automotriz

Nadie duda de que la iluminación automotriz tiene claros beneficios para la seguridad pública, pero este tipo de iluminación puede ser en sí misma la fuente de contaminación lumínica cuestionable. Hay poca evidencia hasta la fecha sobre la contribución de la luz de automóviles a la contami-

nación lumínica. Algunos trabajos preliminares sugieren que el impacto no es menor (31, 428, 429). Muchos esperan que los vehículos autónomos se conviertan en algo común en las próximas décadas. Los científicos apenas están empezando a estudiar qué significa esto en términos de reducir la necesidad de iluminación vial en el futuro (430).

Disuasión de la delincuencia

Al igual que con la seguridad vial, la influencia de la iluminación exterior en la noche sobre la delincuencia es variada. Algunos de los mismos estudios que analizaron la iluminación y la seguridad de tráfico/peatones, también consideraron la incidencia de la delincuencia nocturna. Algunos estudios reportaron reducción del crimen cuando se añade iluminación a espacios exteriores (431, 432). Otros encuentran o un efecto negativo (433, 434), no efecto (435, 436), o resultados mixtos (437).

En la misma línea de si la reducción de la iluminación vial conduce a condiciones inseguras, algunos estudios se preguntan si reducir el alumbrado público aumenta la delincuencia. Una investigación limitada en el Reino Unido no halló ninguna conexión evidente entre la atenuación del alumbrado público durante parte de la noche y un aumento de la delincuencia en las áreas de estudio (422). Al igual que los estudios de tráfico e iluminación, diseñar y llevar a cabo experimentos bien controlados relacionados con la delincuencia es difícil.

La cantidad de luz utilizada en espacios exteriores durante la noche puede no reflejar las expectativas del público en cuanto a la sensación de seguridad y confort (438, 439). (Gráfico 10), y la luz artificial en sí misma puede influir en la percepción humana del miedo (440). En algunos casos, la sobre-iluminación puede convertirse en una fuente de riesgos para la seguridad (441). Algunos estudios encuentran rendimientos decrecientes en términos de percepción pública de la seguridad en espacios exteriores nocturnos a medida que los niveles de iluminación aumentan. (Gráfico 10) (438). Sin embargo, una iluminación diseñada apropiadamente puede reducir la contaminación lumínica y ahorrar energía sin comprometer la sensación de seguridad del público en espacios exteriores nocturnos (442, 443). De hecho, las estrategias integrales que no se enfocan exclusivamente en los niveles de iluminación pueden ofrecer los mejores resultados (444).

Los peligros del deslumbramiento

El deslumbramiento de fuentes de luz artificial brillante es una preocupación particular para la seguridad nocturna. Resulta de intensos haces de luz que entran directamente en el ojo desde una fuente. Parte de esa luz se dispersa en el interior del ojo del observador, reduciendo el contraste entre el primer plano y el fondo. Este efecto dificulta ver objetos diferenciados de lo que les rodea.

El deslumbramiento reduce la visibilidad de objetos en la noche a automovilistas, peatones y ciclistas. Aunque al-

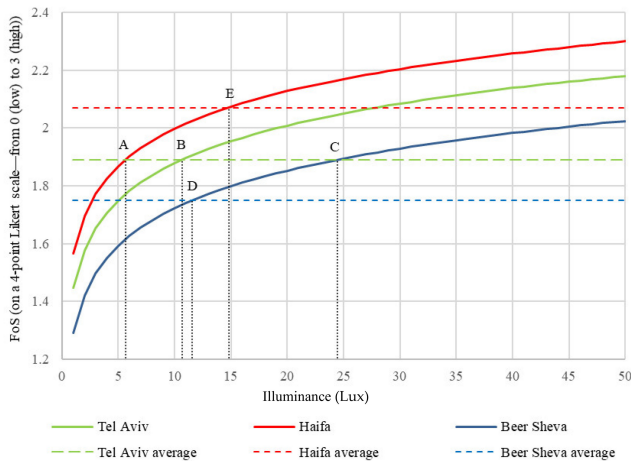


Figure 10. La “sensación de seguridad” (SdS) percibida a varios niveles de luminosidad de espacios exteriores en vecindarios de tres ciudades israelíes. Estos resultados sugieren que la aplicación más eficiente de luz para mejorar la SdS consiste en añadir pequeñas cantidades a lugares anteriormente oscuros. Incrementar los niveles de luz más allá de este umbral puede resultar sólo en una mejora menor en los niveles de SdS. Gráfico 7 en (438), reproducido con el permiso de los autores.

gunos observadores de mayor edad reportan sensaciones más fuertes de deslumbramiento ante ciertas fuentes, parece afectar a personas de todas las edades (445). Algunas fuentes de iluminación modernas, como los LED, pueden empeorar el deslumbramiento al emitir luz considerable en ángulos descendentes muy bajos (30) y también al usar fuentes de luz no uniformes con una insuficiente difusión óptica (446).

La percepción del deslumbramiento parece variar con la longitud de onda de la luz implicada. En general, luz de longitud de onda corta (“fría”) causa un deslumbramiento más fuerte que la luz de longitud de onda larga (“cálida”) (447). Los observadores reportan que toma casi la misma cantidad de tiempo recuperarse de la exposición al deslumbramiento, sin importar el color de la luz (448). La gravedad del deslumbramiento parece estar más relacionada con la “dosis” (intensidad de la luz por duración de la exposición) que con el color (447). Si el fondo que rodea una fuente de deslumbramiento es mayor en luminancia, su intensidad percibida es menor, por ejemplo, los faros de los automóviles son vistos a menudo como fuentes de deslumbramiento en la noche, pero no durante el día. Los fondos con luces más cálidas reducen la percepción del deslumbramiento más que los fondos más fríos (449).

5 Uso de Energía y Cambio Climático

La luz exterior nocturna desperdiciada, es energía desperdiciada. El mundo continúa dependiendo en gran medida de combustibles fósiles para generar electricidad. Dado que la contaminación lumínica representa un derroche de energía, también contribuye directamente al cambio climático.

Luz y demanda global de energía

La electricidad utilizada para alimentar la iluminación exterior llegó a representar alrededor del 1.5% del consumo global de energía (450–452). Los científicos plantearon la hipótesis de que la introducción de iluminación de estado sólido de bajo consumo reduciría este uso. Muchos gobiernos se apresuraron a desplegar la nueva tecnología en los últimos 15 años. A medida que los precios de productos SSL bajaban, la tasa de adopción se incrementaba. Las motivaciones para ello incluían un costo de operación reducido y el cumplimiento de los requisitos de las políticas “verdes”.

A primera vista, la alta eficiencia energética de SSL parece ser buena para el medio ambiente. Por ejemplo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente estima que la transición a una iluminación energéticamente eficiente reduciría la demanda global de electricidad para iluminación en un 30–40% para el año 2030 (453). La rápida adopción de SSL puede, sin embargo, empeorar involuntariamente el problema de la contaminación lumínica. La SSL hace que la luz exterior sea menos costosa y más fácil de consumir. A su vez, una luz más barata puede provocar el uso de más luz y más brillante en la noche donde no es necesaria.

La impostura verde de la iluminación de estado sólido

A medida que la ALAN se ha vuelto más barata de producir, el mundo la ha consumido más. De hecho, ahora los humanos consumen miles de veces más lúmenes de luz de lo que hicieron en el pasado histórico (454). Hay señales de lo que los economistas llaman un “efecto rebote” en iluminación. Se cree que esto es el resultado de la mejorada eficiencia energética y la larga vida útil de los productos SSL. En tales condiciones, el aumento del consumo de luz en la noche erosiona el ahorro de energía previsto y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Algunos investigadores se preguntan ahora si la SSL es realmente una iluminación “sostenible” (455).

Hacia la mitad de la década de 2010, la producción económica anual promedio de cada país se encontraba cambiando a un ritmo que coincidía con el crecimiento en consumo de luz en la noche en dicho país (2), aunque existían grandes variaciones entre países. Esa observación sugiere que el ahorro en el costo al cambiar a SSL, fue a implementar una nueva iluminación exterior. De ser cierto, significa que la SSL no ha logrado una reducción en el uso de energía a nivel global hasta la fecha. Los autores del trascendental estudio de 2017 que lograron estos hallazgos, escribieron que sus resultados son “inconsistentes con la hipótesis de grandes reducciones en el consumo de energía global por iluminación exterior debido a la introducción de iluminación en estado sólido”.

Las afirmaciones sobre los beneficios medioambientales de la SSL pueden ser, en el mejor de los casos, sobreestimadas. A partir de esto, algunos científicos concluyen que es necesaria una nueva definición de “eficiencia” (30). Esta

consideraría el costo total de la iluminación exterior nocturna durante el ciclo de vida total de los productos de iluminación exterior e incluiría factores más allá del simple costo de electricidad, como el daño al medioambiente. Redefinir la eficiencia de este modo puede ayudar a los gobiernos a tomar mejores decisiones sobre la iluminación exterior en el futuro. Además, no está claro si la raíz del problema se encuentra en la propia tecnología o en cómo se aplica, y, por lo tanto, si un cambio en las formas en las que se implementa la SSL podría dar lugar a un resultado diferente.

El costo total de la iluminación exterior

La iluminación de estado sólido puede no proporcionar ningún beneficio medioambiental significativo en términos de reducción de emisiones de carbono. Cumplir la promesa de la SSL precisa replantear cómo los gobiernos regulan la iluminación exterior. De otro modo, la SSL bien podría empeorar el problema de la contaminación lumínica. Sus impactos tienen costos sobre el medioambiente que no pueden ser medidos tan sólo en términos económicos.

Los beneficios sociales y financieros de la SSL parecen desaparecer si uno considera el costo medioambiental total de la iluminación. Por ejemplo, un estudio sobre un programa de reequipamiento de SSL en los Estados Unidos, halló una tasa de retorno a diez años de +118.2% basado únicamente en ahorros debidos a la reducción del consumo de electricidad. Después los investigadores ajustaron el retorno por factores externos como los costos sociales de los malos resultados para la salud que pueden estar relacionados con la exposición a ALAN y el beneficio por las emisiones de carbono evitadas. La tasa resultante cayó a -146.2% (456).

Los programas de SSL se vuelven menos atractivos cuando las consecuencias negativas de la ALAN se incluyen en los cálculos de retorno de inversión. Se sigue debatiendo la cuestión de si la SSL puede cumplir sus beneficios medioambientales prometidos sin una reducción en el consumo de la luz exterior.

6 Luz y Justicia Social

Sabemos muy poco sobre cómo la ALAN afecta a las personas en contextos sociales. La luz en la noche puede ser utilizada de forma que afecte a las comunidades de acuerdo a la raza de las personas que viven en ellas. Eso puede convertir el uso de la luz nocturna en un caso de justicia social y medioambiental.

Sabemos poco acerca de las implicaciones sociales por el uso de la luz exterior durante la noche. La teledetección de luz nocturna desde el espacio puede mostrar ciertos patrones de uso de la luz. Estas observaciones pueden revelar desigualdades sociales en otras variables que de otro modo pasarían desapercibidas (457). Los resultados sociales negativos pueden derivarse de la aplicación de luz exte-

rior. Algunas consideraciones incluyen equidad, resultados de salud, vulnerabilidad climática, derechos humanos, barreras de movilidad y cohesión comunitaria (458, 459). Estas pueden ser en parte legados de políticas racistas de tiempos históricos (460, 461). Las historias del pasado pueden incluso crear “efectos de memoria” medioambientales (462), pero las disparidades observadas en la exposición a la luz nocturna no siempre afectan a grupos desfavorecidos o marginados en particular (463). Al mismo tiempo, existe evidencia de que el acceso a la oscuridad natural nocturna contribuye positivamente a la sensación de felicidad y bienestar en las personas (464, 465).

La investigación limitada hasta la fecha sobre este tema analizó los aspectos sociales de la iluminación solo en los Estados Unidos (466, 467). En un estudio, los investigadores hallaron que los estadounidenses de ascendencia asiática, hispana y negra, tienden a vivir en comunidades más luminosas (Gráfico 11). En estas áreas, el brillo del cielo es de alrededor del doble que en barrios predominantemente blancos. Además, señalan que un estatus socioeconómico más bajo también está asociado a exposiciones a la luz nocturna más altas. Estas condiciones pueden sumarse a otros factores estresantes sociales y medioambientales como la pobreza y la exposición a la contaminación del aire y del agua, afectando la calidad de vida.

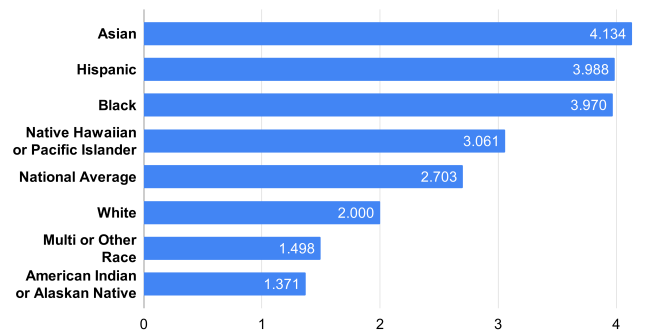


Figure 11. Exposición promedio a la contaminación lumínica en los Estados Unidos continentales por grupo racial/étnico. Las barras muestran los niveles promedio de brillo del cenit en el cielo nocturno ponderados por población, en unidades de milicandelas por metro cuadrado. Adaptado de Gráfico 4 en (466) y reproducido bajo la doctrina del Uso Justo.

Otros enfoques asocian la exposición a luz en la noche a implicaciones de salud específicas que pueden ocasionar daños a ciertos grupos más que a otros (468, 469). También hay resultados limitados de campos establecidos como la psicología ambiental (470–472). Por ejemplo, la “sensación de seguridad” puede llevar a las personas a aceptar niveles de iluminación más bajos (473). Las percepciones sesgadas pueden llevar a la instalación punitiva de iluminación en ciertas comunidades. Además, las instalaciones de iluminación exterior pobremente diseñadas pueden perjudicar a los peatones con discapacidad visual (474). Estas consideraciones, y las implicaciones de salud discutidas en la Sección 3, exigen una atención proactiva para mitigar la contam-

inación lumínica en entornos urbanos (475).

Por último, algunos académicos han criticado el hecho de enmarcar la idea de “oscuridad” en términos de cómo la luz exterior nocturna puede afectar a personas marginadas (476, 477). Argumentan que no aprender de las lecciones de historia medioambiental puede resultar simplemente en repetir los errores del pasado. Muy relacionado con esto, está la idea de que la contaminación lumínica es perjudicial para personas cuyas prácticas religiosas o culturales dependen del acceso al cielo nocturno. La desaparición de las estrellas de la vista debido al brillo del cielo, separa a las personas de este recurso (478). Algunos argumentan que, en particular, amenaza las tradiciones indígenas y los sistemas de conocimiento basados en el acceso al cielo nocturno natural (479).

7 Contaminación Lumínica Espacial

El número de satélites alrededor de la Tierra está aumentando rápidamente. Los satélites reflejan la luz del sol hacia el suelo y cambian la apariencia del cielo nocturno. Debido a que elevan el brillo del cielo nocturno, son un nuevo tipo de amenaza de contaminación lumínica

Los satélites artificiales han orbitado la Tierra desde finales de la década de 1950. Hasta hace poco, no se consideraban una fuente de contaminación lumínica. Esa percepción cambió en mayo 2019, cuando el lanzamiento de 60 satélites en el proyecto “Starlink” de SpaceX marcó el comienzo de una nueva era en el uso del espacio exterior (480). Las empresas privadas espaciales comerciales han anunciado planes desde entonces para lanzar unos 100,000 nuevos satélites. Su intención es que los satélites amplíen el acceso a internet de banda ancha alrededor del mundo. Sin embargo, algunos investigadores cuestionan si los satélites son necesarios para lograr este objetivo (481).

Los satélites se consideran cada vez más una forma emergente de contaminación lumínica (482–484) que puede disminuir el valor de los cielos nocturnos oscuros (485–487). Tienen un impacto sobre el cielo nocturno de dos formas principales. En primer lugar, reflejan la luz solar hacia el lado nocturno de la Tierra. Los satélites iluminados aparecen como puntos de luz brillantes en movimiento en el cielo nocturno (488). Pueden afectar por igual las actividades de astrónomos profesionales y aficionados (489–492). Bajo ciertas condiciones, los “destellos” transitorios de satélites pueden sobrepasar a las estrellas más brillantes del cielo nocturno (493). Para finales de la década de los 2020, cientos de satélites pueden ser visibles a simple vista en cualquier momento desde una ubicación determinada (494). También hay razones para preocuparse sobre los impactos más amplios del ciclo completo de vida de los objetos espaciales, tanto en la Tierra como en los entornos espaciales (495–497).

En segundo lugar, los satélites pueden hacer que el cielo nocturno sea más brillante (499) (Gráfico 12). Esto puede ser

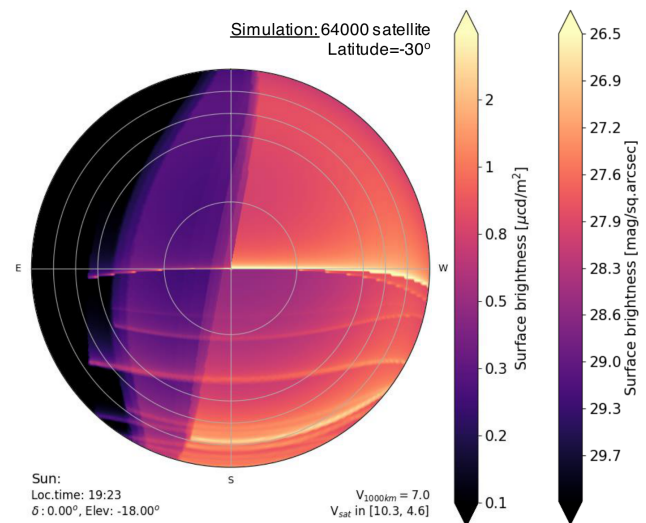


Figure 12. Simulación del cielo nocturno que muestra el brillo atribuible a una población de 64,000 satélites en órbita a la Tierra. La vista se centra en el cenit, con el horizonte alrededor del borde exterior; los círculos centrados en el cenit marcan líneas de elevación constante sobre el horizonte a 10°, 20°, 30° y 60°. Los colores más cálidos indican partes más brillantes del cielo. Resultados no publicados adaptados de (498) y reproducidos con permiso de los creadores.

cierto incluso cuando los observadores no ven los satélites individualmente. Como forma de contaminación lumínica, se suma al brillo observado del cielo nocturno junto con el resplandor causado por las ciudades. Los científicos estiman que objetos espaciales ya pueden aumentar el brillo del cielo nocturno por encima de las fuentes de luz natural hasta en un diez por ciento. (500). Puede rivalizar con la influencia de contaminación lumínica “terrestre” para el año 2030. Se cree que los observadores en latitudes altas se ven más afectados que aquellos en los trópicos (501). Ahora están surgiendo inquietudes sobre los efectos de una nueva generación de satélites muy grandes usados para retransmitir señales de radio a dispositivos móviles individuales en tierra (502).

Astrónomos y oficiales de la industria espacial comenzaron las consultas tras el primer lanzamiento de Starlink. Los científicos sugirieron reducir el brillo de los satélites y limitar las altitudes orbitales para reducir el perjuicio a sus observaciones (503–505). Cambios en el diseño atenuaron los satélites Starlink, pero aún exceden el objetivo (506–510). Esfuerzos recientes enfatizaron la necesidad de involucrar a la industria y los reguladores con las partes interesadas más allá de la astronomía (511–513). También hicieron un llamamiento al activismo para detener un perjuicio mayor al cielo nocturno (514), y financiación para estudiar más el problema y crear un centro de intercambio de información (515).

Los expertos legales consideran cada vez más a las grandes constelaciones de satélites como un factor disruptivo en el ordenamiento jurídico espacial global (516, 517). Las soluciones políticas propuestas hasta la fecha incluyen la re-

clasificación del espacio exterior como un “ecosistema” sujeto a protección medioambiental (518–521). Asegurar un acceso razonable al espacio para el desarrollo comercial es importante, pero aún no entendemos cómo hacerlo mientras protegemos al mismo tiempo el cielo nocturno de los efectos de los satélites.

8 Lagunas de Conocimiento y Necesidades de Investigación

Si bien hemos aprendido mucho sobre los efectos y costos de la ALAN, hay también mucho que aún no sabemos. Aquí hemos resumido las preguntas clave de la investigación para la próxima década.

El interés en la ALAN entre científicos de todos los campos ha crecido a pasos agigantados (522). El número promedio de artículos científicos publicados cada año ha crecido más de un 1000% desde el año 2000. Los métodos necesarios para dar respuesta a cuestiones particulares abarcan cada vez más muchas disciplinas distintas (523, 524), y la aparición de “estudios de la noche” como un campo de investigación propio, demuestra que el tema está madurando rápidamente (525).

El estado de la ciencia resumido en este informe conduce a la identificación de temas importantes para su futuro estudio:

El Cielo Nocturno

- ¿Qué impulsa el aumento de las emisiones de ALAN en todo el mundo?
- ¿Cómo está cambiando el brillo del cielo nocturno alrededor del mundo a escalas regionales?
- ¿Qué tan brillante es el cielo nocturno en todo el mundo en noches nubladas?
- ¿Qué intervenciones en iluminación son las más efectivas en reducir el brillo del cielo?
- ¿El aumento en popularidad del astroturismo, ayuda o perjudica los esfuerzos para proteger los cielos oscuros?

Impactos Ecológicos

- ¿Cuáles son los umbrales de sensibilidad y los contenidos espectrales a los que ocurren diferentes impactos de ALAN para diferentes especies?
- ¿El brillo del cielo, en particular, afecta a muchas o a la mayor parte de especies de plantas y animales? ¿Impacta a ecosistemas completos?
- ¿Cuáles son las consecuencias ecológicas a largo plazo de la contaminación lumínica?

- ¿Cómo contribuye la ALAN al declive o la extinción de las especies?
- ¿Hasta qué punto es la ALAN responsable del declive observado en las poblaciones de insectos?

Salud Humana

- ¿La exposición a ALAN específicamente en espacios exteriores afecta a la salud humana de alguna forma?
- ¿La luz exterior nocturna que penetra espacios interiores afecta al sueño y a la salud?
- ¿Las relaciones observadas entre la luz exterior nocturna detectada remotamente y la salud, son resultado de causa y efecto?
- ¿La exposición a ALAN de iluminación exterior está socavando la eficacia de nuevas terapias farmacéuticas, por ejemplo, los “biológicos” que atacan el sistema inmunológico para combatir el cáncer?
- ¿Los estudios sobre ALAN en organismos modelo son replicables ampliamente en sujetos humanos?

Seguridad Pública

- ¿Cómo se relaciona la luz nocturna con la seguridad vial?
- ¿Cómo se relaciona con ambos, el crimen violento y los delitos contra la propiedad?
- ¿Podemos diseñar mejores experimentos para responder estas preguntas definitivamente?
- ¿Qué efectos sistemáticos y factores de desviación son los que más contribuyen a las incertidumbres en el estudio de ALAN/seguridad pública?
- ¿Cuáles son las características de iluminación, como intensidad, color, deslumbramiento y otras características de diseño, que logran resultados de seguridad deseados?
- ¿Cómo pueden la direccionalidad, la uniformidad, el control y el ajuste espectral de la iluminación LED apoyar la percepción de seguridad real y percibida con niveles de luz mínimamente disruptivos?
- ¿Cuánto puede atenuarse la iluminación vial, el alumbrado público y la iluminación de áreas durante las horas de menos tráfico de forma segura y legalmente justificable?

Uso de Energía y Cambio Climático

- ¿La actual transición global a iluminación de estado sólido ha tenido un efecto neto positivo en términos de reducción de consumo de electricidad y emisión de gases de efecto invernadero?

- ¿Qué compensaciones sociales, financieras y medioambientales han sido resultado de la revolución de la iluminación LED?
- A medida que la iluminación de estado sólido se aproxima a la saturación del mercado, ¿qué tan efectivos son los controles adaptativos en reducir el uso de iluminación nocturna?
- Dadas ciertas limitaciones prácticas, ¿podemos cuantificar mejor la cantidad de emisiones de carbono asociadas a la iluminación exterior?
- ¿Qué tecnologías de iluminación, prácticas de diseño y políticas pueden reducir la contaminación lumínica y el uso de electricidad a niveles mínimos seguros?

Luz y Justicia Social

- ¿Qué tan bien coincide el uso de ALAN con indicadores de salud pública a lo largo de líneas raciales y económicas?
- Si se encuentran disparidades consistentes en las aplicaciones de ALAN, ¿por qué existen?
- ¿Qué políticas públicas son efectivas en la reducción de exposiciones a ALAN en diferentes comunidades?

Contaminación Lumínica Espacial

- ¿Las predicciones sobre la contribución de los satélites al brillo difuso del cielo nocturno son correctas?
- ¿Cómo varían los impactos sobre el cielo nocturno según el número de satélites, sus altitudes orbitales y distribuciones espaciales?
- ¿Los grandes satélites que proporcionan servicio de Cobertura Complementaria desde el Espacio (SCS) plantean inquietudes especiales?
- ¿Existe una “capacidad de carga” particular de satélites en órbita terrestre baja?
- ¿Los diseños de satélites son efectivos para reducir o eliminar sus impactos en la visibilidad del cielo nocturno?
- ¿Qué mecanismos legales nacionales e internacionales pueden aplicarse al problema?

También consideramos cuestiones y temas que abarcan más de un campo de la investigación sobre la ALAN, así como la aplicación de la propia investigación:

Investigación Sintética

- ¿Puede algo como un “umbral de exposición segura” medioambiental a la ALAN ser definida?
- ¿Pueden las mejoras en el diseño de luminarias aumentar la eficacia general de la iluminación exterior?

- ¿Cómo se relacionan las distintas métricas de iluminación? Por ejemplo, ¿podemos modelar el brillo del cielo basándonos en recopilaciones de datos generales de luminancia?
- ¿Cómo interactúa la contaminación del aire con la ALAN?
- ¿Cómo están algunas medidas de ALAN como el brillo del cielo específicamente relacionadas a un conjunto de resultados no deseados (por ejemplo, resultados ecológicos adversos, de salud o astronómicos)?

Aplicaciones de la Investigación de ALAN

- Las prácticas de iluminación implementadas a escala de paisaje, ¿son efectivas en la rehabilitación de áreas ecológicamente sensibles?
- ¿Son también efectivas en reducir mediblemente el brillo del cielo nocturno?
- ¿Qué intervenciones, además de las políticas públicas, se encuentran disponibles para mitigar las consecuencias no deseadas de la ALAN?
- ¿Los incentivos sociales o financieros con efectivos para reducir la contaminación lumínica?
- ¿Qué beneficios económicos específicos aporta el astroturismo a las comunidades?
- ¿Qué beneficios medibles reciben los lugares certificados como DARK SKY? ¿Qué costos incurren en la gestión de su estatus de cielo oscuro?
- ¿Qué comunidades buscan y obtienen las designaciones Dark Sky y por qué?

Metodología

Este informe fue compilado utilizando como su fuente principal la Base de Datos de Literatura de Investigación sobre Luz Artificial Nocturna (ALANDB; <https://alandb.darksky.org/>), una base de datos de citas de literatura científica seleccionadas por expertos en distintos campos de la investigación sobre la ALAN. Complementamos ALANDB con otros recursos en línea como Google Académico (<https://scholar.google.com/>) y PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Definimos “literatura científica” como los resultados sujetos al menos a una revisión por pares externa y publicados en lo que consideramos medios de buena reputación. Se tuvieron en cuenta tanto artículos de acceso libre como de no acceso libre. Cuando estuvieron disponibles, consideramos métricas posteriores a la publicación, como citas, al decidir qué fuentes utilizar. Exponemos advertencias y deficiencias sobre las fuentes cuando las conocemos.

En general, no consideramos informes técnicos, documentos técnicos, tesis y otras fuentes que algunas veces se denominan colectivamente como “literatura gris”. Futuras ediciones del informe pueden extenderse e incluir literatura gris cuando haya suficiente evidencia de una revisión rigurosa, especialmente en casos en los que hay muy poca o ninguna información sobre un tema disponible de otra manera.

La versión original de este informe fue preparada en 2022 por John Barentine, Ph.D. (Dark Sky Consulting, LLC). Fue revisada externamente por expertos en la materia, a quienes agradecemos sus comentarios que han ayudado a mejorar el resultado. Como “documento vivo”, se actualizó en 2023-25 y se actualizará de manera similar en el futuro.

Referencias

- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C.C.M., Elvidge, C.D., Baugh, K., Portnov, B.A., Rybníková, N.A. and Furgoni, R. The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6):e1600377, jun 2016. doi: 10.1126/sciadv.1600377.
- Kyba, C.C.M., Kuester, T., de Miguel, A.S., Baugh, K., Jechow, A., Höcker, F., Bennie, J., Elvidge, C.D., Gaston, K.J. and Guanter, L. Artificially lit surface of earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances*, 3(11):e1701528, nov 2017. doi: 10.1126/sciadv.1701528.
- Azman, M.I., Dalimin, M.N., Mohamed, M. and Bakar, M.F.A. A brief overview on light pollution. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 269(1):012014, Jul 2019. doi: 10.1088/1755-1315/269/1/012014.
- Kyba, C.C.M., Altıntaş, Y.Ö., Walker, C.E. and Newhouse, M. Citizen scientists report global rapid reductions in the visibility of stars from 2011 to 2022. *Science*, 379(6629): 265–268, jan 2023. doi: 10.1126/science.abq7781.
- Falchi, F. Light pollution. In Charlesworth, S.M. and Booth, C.A., editors, *Urban Pollution: Science and Management*, chapter 11, pages 147–156. Wiley-Blackwell, 2018.
- Gaston, K.J. and de Miguel, A.S. Environmental impacts of artificial light at night. *Annual Review of Environment and Resources*, 47(1):373–398, oct 2022. doi: 10.1146/annurev-environ-112420-014438.
- Gaston, K.J., Gardner, A.S. and Cox, D.T.C. Anthropogenic changes to the nighttime environment. *BioScience*, 73(4):280–290, April 2023. ISSN 1525-3244. doi: 10.1093/biosci/biad017.
- Cox, D.T. and Gaston, K.J. Global erosion of terrestrial environmental space by artificial light at night. *Science of The Total Environment*, 904:166701, December 2023. ISSN 0048-9697. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.166701.
- Bará, S., Bao-Varela, C. and Falchi, F. Light pollution and the concentration of anthropogenic photons in the terrestrial atmosphere. *Atmospheric Pollution Research*, 13(9): 101541, sep 2022. doi: 10.1016/j.apr.2022.101541.
- Bará, S. and Falchi, F. Artificial light at night: a global disruptor of the night-time environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1892), October 2023. ISSN 1471-2970. doi: 10.1098/rstb.2022.0352.
- Leng, W., He, G. and Jiang, W. Investigating the spatiotemporal variability and driving factors of artificial lighting in the beijing-tianjin-hebei region using remote sensing imagery and socioeconomic data. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(11):1950, jun 2019. doi: 10.3390/ijerph16111950.
- Pothukuchi, K. City light or star bright: A review of urban light pollution, impacts, and planning implications. *Journal of Planning Literature*, 36(2):155–169, jan 2021. doi: 10.1177/0885412220986421.
- Bará, S. A note on the overall efficiency of outdoor lighting systems. *Zenodo*, 2022. doi: 10.5281/ZENODO.6588230.
- Gaston, K.J., Gaston, S., Bennie, J. and Hopkins, J. Benefits and costs of artificial nighttime lighting of the environment. *Environmental Reviews*, 23(1):14–23, mar 2015. doi: 10.1139/er-2014-0041.
- Stone, T. Light pollution: A case study in framing an environmental problem. *Ethics, Policy & Environment*, 20(3):279–293, sep 2017. doi: 10.1080/21550085.2017.1374010.
- Hearnshaw, J.B. A sustainable world requires darkness at night. *Proceedings of the Royal Society of Victoria*, 135(2):50–57, December 2023. ISSN 2204-1362. doi: 10.1071/rs23009.
- Schäfer, M. and Henninger, S. Perspective chapter: Innovative modernisation and sustainable transformation processes as a municipal remedy against light pollution. In *Urban Pollution - Environmental Challenges in Healthy Modern Cities [Working Title]*. IntechOpen, December 2024. doi: 10.5772/intechopen.1007547.
- Kociřaj, M., Petrřala, J. and Medved, I. Skyglow from ground-reflected radiation: model improvements. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 533(2):2356–2363, August 2024. ISSN 1365-2966. doi: 10.1093/mnras/stae1992.
- Kociřaj, M. and Novák, T. Ground-reflected light: The invariance principle and the effect of luminaire height, emission pattern, and non-uniform albedo. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 328:109173, December 2024. ISSN 0022-4073. doi: 10.1016/j.jqsrt.2024.109173.
- Levin, N., Kyba, C.C., Zhang, Q., de Miguel, A.S., Román, M.O., Li, X., Portnov, B.A., Molthan, A.L., Jechow, A., Miller, S.D., Wang, Z., Shrestha, R.M. and Elvidge, C.D. Remote sensing of night lights: A review and an outlook for the future. *Remote Sensing of Environment*, 237:111443, feb 2020. doi: 10.1016/j.rse.2019.111443.
- Combs, C.L. and Miller, S.D. A review of the far-reaching usage of low-light nighttime data. *Remote Sensing*, 15(3):623, January 2023. ISSN 2072-4292. doi: 10.3390/rs15030623.
- Barentine, J.C. Night sky brightness measurement, quality assessment and monitoring. *Nature Astronomy*, 6(10):1120–1132, aug 2022. doi: 10.1038/s41550-022-01756-2.
- Falchi, F., Ramos, F., Bará, S., Sanhueza, P., Jaque Arancibia, Marcelo Arancibia, M., Damke, G. and Cinzano, P. Light pollution indicators for all the major astronomical observatories. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 519(1):26–33, dec 2022. ISSN 1365-2966. doi: 10.1093/mnras/stac2929.
- Varela Perez, A.M. The increasing effects of light pollution on professional and amateur astronomy. *Science*, 380(6650):1136–1140, jun 2023. ISSN 1095-9203. doi: 10.1126/science.adg0269.
- Kociřaj, M., Markoš, P., Kundracik, F., Barentine, J.C. and Wallner, S. An accurate and realistic polarization model for night-sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 532(1):L70–L74, May 2024. ISSN 1745-3933. doi: 10.1093/mnras/lsae048.
- Kociřaj, M., Markoš, P., Kundracik, F., Barentine, J.C. and Wallner, S. Night sky polarization model for a cloud-free atmosphere illuminated by ground-based light sources. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 532(4):4864–4875, July 2024. ISSN 1365-2966. doi: 10.1093/mnras/stae1803.
- Deverchère, P., Vauclair, S., Bosch, G., Moulherat, S. and Cornuau, J.H. Towards an absolute light pollution indicator. *Scientific Reports*, 12(1), oct 2022. doi: 10.1038/s41598-022-21460-5.
- Jägerbrand, A., Gasparovsky, D., Bouroussis, C., Schlangen, L., Lau, S. and Donners, M. Correspondence: Obtrusive light, light pollution and sky glow: Areas for research, development and standardisation. *Lighting Research & Technology*, 54(2):191–194, apr 2022. doi: 10.1177/14771535211040973.
- Linares Arroyo, H., Abascal, A., Degen, T., Aubé, M., Espey, B.R., Gyuk, G., Höcker, F., Jechow, A., Kuffer, M., Sánchez de Miguel, A., Simoneau, A., Walczak, K. and Kyba, C.C.M. Monitoring, trends and impacts of light pollution. *Nature Reviews Earth & Environment*, 5(6):417–430, May 2024. ISSN 2662-138X. doi: 10.1038/s43017-024-00555-9.
- Kyba, C.C.M., Hänel, A. and Höcker, F. Redefining efficiency for outdoor lighting. *Energy Environ. Sci.*, 7(6):1806–1809, 2014. doi: 10.1039/c4ee00566j.
- Bará, S., Rodríguez-Arós, Á., Pérez, M., Tosar, B., Lima, R., de Miguel, A.S. and Zamorano, J. Estimating the relative contribution of streetlights, vehicles, and residential lighting to the urban night sky brightness. *Lighting Research & Technology*, 51(7): 1092–1107, oct 2018. doi: 10.1177/1477153518808337.
- Barentine, J.C., Kundracik, F., Kociřaj, M., Sanders, J.C., Esquerdo, G.A., Dalton, A.M., Foott, B., Grauer, A., Tucker, S. and Kyba, C.C. Recovering the city street lighting fraction from skyglow measurements in a large-scale municipal dimming experiment. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 253:107120, sep 2020. doi: 10.1016/j.jqsrt.2020.107120.
- Kyba, C., Ruby, A., Kuechly, H., Kinzey, B., Miller, N., Sanders, J., Barentine, J., Kleinodt, R. and Espey, B. Direct measurement of the contribution of street lighting to satellite observations of nighttime light emissions from urban areas. *Lighting Research & Technology*, 53(3):189–211, oct 2020. ISSN 1477-0938. doi: 10.1177/1477153520958463.
- Zamorano, J., Bará, S., Barco, M., García, C. and Caballero, A.L. Controlling the artificial radiance of the night sky: The aňora urban laboratory. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 296:108454, feb 2023. doi: 10.1016/j.jqsrt.2022.108454.
- Falchi, F., Cinzano, P., Elvidge, C.D., Keith, D.M. and Haim, A. Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental Management*, 92(10):2714–2722, oct 2011. doi: 10.1016/j.jenvman.2011.06.029.
- Schroer, S. and Höcker, F. Light pollution reduction. In *Handbook of Advanced Lighting Technology*, pages 1–17. Springer International Publishing, 2014. doi: 10.1007/978-3-319-00295-8_43-1.
- Bettanini, C., Bartolomei, M., Aboudan, A., Colombatti, G. and Olivieri, L. Flight test of an autonomous payload for measuring sky brightness and ground light pollution using a stratospheric sounding balloon. *Acta Astronautica*, 191:11–21, feb 2022. doi: 10.1016/j.actaastro.2021.11.003.
- Cavazzani, S., Fiorentin, P., Bettanini, C., Bartolomei, M., Bertolin, C., Ortolani, S., Bertolo, A., Binotto, R., Olivieri, L., Aboudan, A. and Colombatti, G. Launch of a sounding balloon for horizontal and vertical modelling of ALAN propagation in the atmosphere. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 517(3):4220–4228, oct 2022. doi: 10.1093/mnras/stac2977.
- Aubé, M., Simoneau, A. and Kolláth, Z. Hablan: Multispectral and multiangular remote sensing of artificial light at night from high altitude balloons. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 306:108606, September 2023. ISSN 0022-4073. doi: 10.1016/j.jqsrt.2023.108606.
- Walczak, K., Wisbrock, L., Tarr, C., Gyuk, G., Amezcua, J., Cheng, C., Cris, J., Jimenez, C., Mehta, M., Mujahid, A., Pritchard, L., Suquino, K. and Turkic, L. Quantifying nighttime light emission by land use from the stratosphere. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 310:108739, December 2023. ISSN 0022-4073. doi: 10.1016/j.jqsrt.2023.108739.
- Kuechly, H.U., Kyba, C.C., Ruhtz, T., Lindemann, C., Wolter, C., Fischer, J. and Höcker, F. Aerial survey and spatial analysis of sources of light pollution in berlin, germany. *Remote Sensing of Environment*, 126:39–50, nov 2012. doi: 10.1016/j.rse.2012.08.008.
- Bouroussis, C.A. and Topalis, F.V. Assessment of outdoor lighting installations and their impact on light pollution using unmanned aircraft systems - the concept of the drone-gonio-

- photometer. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 253:107155, sep 2020. doi: 10.1016/j.jqsrt.2020.107155.
43. Zhang, D., Li, D., Zhou, L. and Wu, J. Fine classification of uav urban nighttime light images based on object-oriented approach. *Sensors*, 23(4):2180, February 2023. ISSN 1424-8220. doi: 10.3390/s23042180.
44. Bobkowska, K., Burdziakowski, P., Tysiac, P. and Pulas, M. An innovative new approach to light pollution measurement by drone. *Drones*, 8(9):504, September 2024. ISSN 2504-446X. doi: 10.3390/drones8090504.
45. Bachmann, M. and Storch, T. First nighttime light spectra by satellite—by enmap. *Remote Sensing*, 15(16):4025, August 2023. ISSN 2072-4292. doi: 10.3390/rs15164025.
46. Guo, H., Dou, C., Chen, H., Liu, J., Fu, B., Li, X., Zou, Z. and Liang, D. Sdgsat-1: the world's first scientific satellite for sustainable development goals. *Science Bulletin*, 68(1): 34–38, jan 2023. ISSN 2095-9273. doi: 10.1016/j.scib.2022.12.014.
47. de Miguel, A.S., Kyba, C.C., Aubé, M., Zamorano, J., Cardiel, N., Tapia, C., Bennie, J. and Gaston, K.J. Colour remote sensing of the impact of artificial light at night (i): The potential of the international space station and other DSLR-based platforms. *Remote Sensing of Environment*, 224:92–103, apr 2019. doi: 10.1016/j.rse.2019.01.035.
48. Román, M.O., Wang, Z., Sun, Q., Kalb, V., Miller, S.D., Molthan, A., Schultz, L., Bell, J., Stokes, E.C., Pandey, B., Seto, K.C., Hall, D., Oda, T., Wolfe, R.E., Lin, G., Golpayegani, N., Devadiga, S., Davidson, C., Sarkar, S., Praderas, C. et al. NASA's black marble night-time lights product suite. *Remote Sensing of Environment*, 210:113–143, jun 2018. doi: 10.1016/j.rse.2018.03.017.
49. Elvidge, C.D., Baugh, K., Ghosh, T., Zhizhin, M., Hsu, F.C., Sparks, T., Bazilian, M., Sutton, P.C., Hounghedji, K. and Goldblatt, R. Fifty years of nightly global low-light imaging satellite observations. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, aug 2022. doi: 10.3389/frsen.2022.919937.
50. Akandil, C., Plekhanova, E., Rietze, N., Oehri, J., Román, M.O., Wang, Z., Radeloff, V.C. and Schaeppman-Strub, G. Artificial light at night reveals hotspots and rapid development of industrial activity in the arctic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(44), October 2024. ISSN 1091-6490. doi: 10.1073/pnas.2322269121.
51. Kayode-Edwards, I.I. and Agbontaen, D.O. *Light Pollution in the Arctic Marine Environment*, pages 275–282. Springer Nature Switzerland, 2024. ISBN 9783031735844. doi: 10.1007/978-3-031-73584-4_13.
52. Falchi, F., Furgoni, R., Gallaway, T., Rybnikova, N., Portnov, B., Baugh, K., Cinzano, P. and Elvidge, C. Light pollution in USA and europe: The good, the bad and the ugly. *Journal of Environmental Management*, 248:109227, oct 2019. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.06.128.
53. de Miguel, A.S., Bennie, J., Rosenfeld, E., Dzurjak, S. and Gaston, K.J. First estimation of global trends in nocturnal power emissions reveals acceleration of light pollution. *Remote Sensing*, 13(16):3311, aug 2021. doi: 10.3390/rs13163311.
54. Petrzala, J. and Kómar, L. The contribution of scattered radiation to the upward radiance of a city. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 333:109330, March 2025. ISSN 0022-4073. doi: 10.1016/j.jqsrt.2024.109330.
55. Bará, S. Detecting changes in anthropogenic light emissions: Limits due to atmospheric variability. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 329:109187, December 2024. ISSN 0022-4073. doi: 10.1016/j.jqsrt.2024.109187.
56. Rybnikova, N. and Broitman, D. The power of spectrally enhanced artificial night-time lights data: Assessing ntl risks along the urban-natural interface. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 36:101309, November 2024. ISSN 2352-9385. doi: 10.1016/j.rse.2024.101309.
57. Kyba, C.C.M., Aubé, M., Bará, S., Bertolo, A., Bouroussis, C.A., Cavazzani, S., Espey, B.R., Falchi, F., Gyuk, G., Jechow, A., Kocifaj, M., Kolláth, Z., Lamphar, H., Levin, N., Liu, S., Miller, S.D., Ortolani, S., Pun, C.S.J., Ribas, S.J., Ruhtz, T. et al. Multiple angle observations would benefit visible band remote sensing using night lights. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 127(12), jun 2022. doi: 10.1029/2021jd036382.
58. De Miguel, A.S. and Krupansky, S. Importance of the time acquisition difference between dmisp/ols and snpp/viirs/dnb and the raw trends in europe, 2022.
59. Kolláth, Z., Száz, D. and Kolláth, K. Measurements and modelling of artificial sky brightness: Combining remote sensing from satellites and ground-based observations. *Remote Sensing*, 13(18):3653, sep 2021. doi: 10.3390/rs13183653.
60. Espey, B.R., Yan, X. and Patrascu, K. Real-world urban light emission functions and quantitative comparison with spacecraft measurements. *Remote Sensing*, 15(12):2973, June 2023. ISSN 2072-4292. doi: 10.3390/rs15122973.
61. Zhao, Zhou, Li, Cao, He, Yu, Li, Elvidge, Cheng and Zhou. Applications of satellite remote sensing of nighttime light observations: Advances, challenges, and perspectives. *Remote Sensing*, 11(17):1971, aug 2019. doi: 10.3390/rs11171971.
62. Barentine, J.C., Walczak, K., Gyuk, G., Tarr, C. and Longcore, T. A case for a new satellite mission for remote sensing of night lights. *Remote Sensing*, 13(12):2294, jun 2021. doi: 10.3390/rs13122294.
63. Kyba, C.C.M., Ruhtz, T., Fischer, J. and Höller, F. Cloud coverage acts as an amplifier for ecological light pollution in urban ecosystems. *PLoS ONE*, 6(3):e17307, mar 2011. doi: 10.1371/journal.pone.0017307.
64. Ścieżor, T. The impact of clouds on the brightness of the night sky. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 247:106962, may 2020. doi: 10.1016/j.jqsrt.2020.106962.
65. Jechow, A., Höller, F. and Kyba, C.C.M. Using all-sky differential photometry to investigate how nocturnal clouds darken the night sky in rural areas. *Scientific Reports*, 9(1), feb 2019. doi: 10.1038/s41598-018-37817-8.
66. Kocifaj, M. and Barentine, J.C. Air pollution mitigation can reduce the brightness of the night sky in and near cities. *Scientific Reports*, 11(1), July 2021. doi: 10.1038/s41598-021-94241-1.
67. Liu, M., Li, W., Zhang, B., Hao, Q., Guo, X. and Liu, Y. Research on the influence of weather conditions on urban night light environment. *Sustainable Cities and Society*, 54: 101980, mar 2020. doi: 10.1016/j.scs.2019.101980.
68. Wallner, S. and Kocifaj, M. Aerosol impact on light pollution in cities and their environment. *Journal of Environmental Management*, 335:117534, June 2023. ISSN 0301-4797. doi: 10.1016/j.jenvman.2023.117534.
69. Stark, H., Brown, S.S., Wong, K.W., Stutz, J., Elvidge, C.D., Pollack, I.B., Ryerson, T.B., Dube, W.P., Wagner, N.L. and Parrish, D.D. City lights and urban air. *Nature Geoscience*, 4(11):730–731, oct 2011. doi: 10.1038/geo1300.
70. Shith, S., Ramli, N.A., Awang, N.R., Ismail, M.R., Latif, M.T. and Zainordin, N.S. Does light pollution affect nighttime ground-level ozone concentrations? *Atmosphere*, 13(11):1844, nov 2022. doi: 10.3390/atmos13111844.
71. Shith, S., Ramli, N.A., Mohd Nadzir, A.U., Awang, N.R. and Ismail, M.R. Drivers of nocturnal interactions between ground-level ozone and nitrogen dioxide. *Global NEST Journal*, 25(6):149–155, June 2023. ISSN 2241-777X. doi: 10.30955/gnj.004843.
72. Thuraiarah, U. *Discovery of Artificial Photolysis that Influences Air Pollution in Urban Versus Rural Areas in Changing Climate*, pages 55–79. B P International (a part of SCIENCEDOMAIN International), September 2023. ISBN 9788119761746. doi: 10.9734/bpi/eieges/v110956f.
73. Aubé, M. Physical behaviour of anthropogenic light propagation into the nocturnal environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1667): 20140117, may 2015. doi: 10.1098/rstb.2014.0117.
74. Falchi, F. Campaign of sky brightness and extinction measurements using a portable CCD camera. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 412(1):33–48, dec 2010. doi: 10.1111/j.1365-2966.2010.17845.x.
75. Jechow and Höller. Snowglow—the amplification of skyglow by snow and clouds can exceed full moon illuminance in suburban areas. *Journal of Imaging*, 5(8):69, aug 2019. doi: 10.3390/jimaging5080069.
76. Kocifaj, M. Ground albedo impacts on higher-order scattering spectral radiances of night sky. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 239:106670, dec 2019. doi: 10.1016/j.jqsrt.2019.106670.
77. Wallner, S. and Kocifaj, M. Impacts of surface albedo variations on the night sky brightness – a numerical and experimental analysis. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 239:106648, dec 2019. doi: 10.1016/j.jqsrt.2019.106648.
78. Zissis, G., Bertoldi, P. and Serrenho, T. *Update on the status of LED-lighting world market since 2018*. Publications Office, European Commission Joint Research Centre, 2021. doi: 10.2760/759859.
79. Zielińska-Dąbkowska, K.M. Healthier and environmentally responsible sustainable cities and communities, a new design framework and planning approach for urban illumination. *Sustainability*, 14(21):14525, nov 2022. doi: 10.3390/su142114525.
80. de Miguel, A.S., Aubé, M., Zamorano, J., Kocifaj, M., Roby, J. and Tapia, C. Sky quality meter measurements in a colour-changing world. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 467(3):2966–2979, mar 2017. doi: 10.1093/mnras/stx145.
81. Kolláth, Z., Száz, D., Kolláth, K. and Tong, K.P. Light pollution monitoring and sky colours. *Journal of Imaging*, 6(10):104, oct 2020. doi: 10.3390/jimaging6100104.
82. Robles, J., Zamorano, J., Pascual, S., de Miguel, A.S., Gallego, J. and Gaston, K.J. Evolution of brightness and color of the night sky in madrid. *Remote Sensing*, 13(8):1511, April 2021. doi: 10.3390/rs13081511.
83. Luginbuhl, C.B., Boley, P.A. and Davis, D.R. The impact of light source spectral power distribution on sky glow. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 139:21–26, may 2014. doi: 10.1016/j.jqsrt.2013.12.004.
84. Hung, L.W., Anderson, S.J., Pipkin, A. and Fristrup, K. Changes in night sky brightness after a countywide LED retrofit. *Journal of Environmental Management*, 292:112776, August 2021. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112776.
85. Lamphar, H., Wallner, S. and Kocifaj, M. Modelled impacts of a potential light emitting diode lighting system conversion and the influence of an extremely polluted atmosphere in Mexico City. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, page 239980832110127, May 2021. doi: 10.1177/23998083211012702.
86. Tabaka, P. and Kolomański, S. Influence of replacing discharge lamps with led sources in outdoor lighting installations on astronomical observations. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, page 147915, October 2023. ISSN 2300-1917. doi: 10.24425/bpasts.2023.147915.
87. McNaughton, E.J., Gaston, K.J., Beggs, J.R., Jones, D.N. and Stanley, M.C. Areas of ecological importance are exposed to risk from urban sky glow: Auckland, aotearoa-new zealand as a case study. *Urban Ecosystems*, August 2021. doi: 10.1007/s11252-021-01149-9.
88. Baddiley, C. Light pollution colour changes at MHAONB, from distant town conversions to blue-rich LED lighting, implications for rural UK skies. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 267:107574, jun 2021. doi: 10.1016/j.jqsrt.2021.107574.
89. Green, R.F., Luginbuhl, C.B., Wainscoat, R.J. and Duriscoe, D. The growing threat of light pollution to ground-based observatories. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 30(1), jan 2022. doi: 10.1007/s00159-021-00138-3.
90. Hearnshaw, J. Light pollution as a risk for astronomical research and how to manage it. In *Risk Management in Outer Space Activities*, pages 177–220. Springer Nature Singapore, 2022. doi: 10.1007/978-981-16-4756-7_7.
91. Bhagavathula, R. and Gibbons, R.B. Light levels for parking facilities based on empirical evaluation of visual performance and user perceptions. *LEUKOS*, 16(2):115–136, feb 2019. doi: 10.1080/15502724.2018.1551724.
92. Barentine, J.C., Walker, C.E., Kocifaj, M., Kundracik, F., Juan, A., Kanemoto, J. and Monrad, C.K. Skyglow changes over tucson, arizona, resulting from a municipal LED street lighting conversion. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 212: 10–23, June 2018. doi: 10.1016/j.jqsrt.2018.02.038.
93. Ścieżor, T. Effect of street lighting on the urban and rural night-time radiance and the bright-

- ness of the night sky. *Remote Sensing*, 13(9):1654, apr 2021. doi: 10.3390/rs13091654.
94. Bará, S., Falchi, F., Lima, R.C. and Pawley, M. Can we illuminate our cities and (still) see the stars? *International Journal of Sustainable Lighting*, 23(2):58–69, oct 2021. doi: 10.26607/ijsl.v23i2.113.
 95. Pásková, M., Budinská, N. and Zelenka, J. Astro-tourism—exceeding limits of the earth and tourism definitions? *Sustainability*, 13(1):373, jan 2021. doi: 10.3390/su13010373.
 96. Smith, J.W., Miller, Z., Miller, A. and Lamborn, C.C. Characteristics, management preferences, and spending profiles of night sky recreationists in Utah. Technical report, Utah State University, Logan, Utah, feb 2023.
 97. Collison, F.M. and Poe, K. “astronomical tourism”: The astronomy and dark sky program at Bryce canyon national park. *Tourism Management Perspectives*, 7:1–15, jul 2013. doi: 10.1016/j.tmp.2013.01.002.
 98. Rodrigues, A.L.O., Rodrigues, A. and Peroff, D.M. The sky and sustainable tourism development: A case study of a dark sky reserve implementation in alqueva. *International Journal of Tourism Research*, 17(3):292–302, jan 2014. doi: 10.1002/ijtr.1987.
 99. Mitchell, D. and Galloway, T. Dark sky tourism: economic impacts on the Colorado plateau economy, USA. *Tourism Review*, 74(4):930–942, sep 2019. doi: 10.1108/tr-10-2018-0146.
 100. Beeco, J.A., Wilkins, E.J., Miller, A.B., Lamborn, C.C., Anderson, S.J., Miller, Z.D. and Smith, J.W. Support for management actions to protect night sky quality: Insights from visitors to state and national park units in the U.S. *Journal of Environmental Management*, 345:118878, November 2023. ISSN 0301-4797. doi: 10.1016/j.jenvman.2023.118878.
 101. Hvenegaard, G.T. and Banack, C.S. Visitor outcomes from dark sky tourism: a case study of the Jasper dark sky festival. *Journal of Ecotourism*, 24(1):75–84, February 2024. ISSN 1747-7638. doi: 10.1080/14724049.2024.2320698.
 102. Rodrigues, Á. and Loureiro, S.M.C. Exploring community self-efficacy to light pollution mitigation in a tourism destination. *Tourism Planning & Development*, 21(6):818–840, March 2024. ISSN 2156-8324. doi: 10.1080/21568316.2024.2332243.
 103. Crumey, A. Human contrast threshold and astronomical visibility. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 442(3):2600–2619, jun 2014. doi: 10.1093/mnras/stu992.
 104. Duriscoe, D.M. Photometric indicators of visual night sky quality derived from all-sky brightness maps. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 181:33–45, sep 2016. doi: 10.1016/j.jqsrt.2016.02.022.
 105. Hung, L.W. Identifying distinct metrics for assessing night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 511(4):5683–5688, sep 2021. doi: 10.1093/mnras/stab2662.
 106. Barentine, J.C. Methods for assessment and monitoring of light pollution around ecologically sensitive sites. *Journal of Imaging*, 5(5):54, may 2019. doi: 10.3390/jimaging5050054.
 107. Kyba, C.C.M. and Coesfeld, J. Satellite observations show reductions in light emissions at international dark sky places during 2012–2020. *International Journal of Sustainable Lighting*, 23(2):51–57, oct 2021. doi: 10.26607/ijsl.v23i2.111.
 108. Beier, P. Effects of artificial night lighting on terrestrial mammals. In Rich, C. and Longcore, T., editors, *Ecological consequences of artificial night lighting*, pages 19–42, Washington, D.C., 2005. Island Press.
 109. Dacke, M., Baird, E., Byrne, M., Scholtz, C.H. and Warrant, E.J. Dung beetles use the milky way for orientation. *Current Biology*, 23(4):298–300, feb 2013. doi: 10.1016/j.cub.2012.12.034.
 110. Hagen, O., Santos, R.M., Schlindwein, M.N. and Viviani, V.R. Artificial night lighting reduces firefly (coleoptera: Lampyridae) occurrence in sorocaba, Brazil. *Advances in Entomology*, 03(01):24–32, 2015. doi: 10.4236/ae.2015.31004.
 111. Hirt, M.R., Evans, D.M., Miller, C.R. and Ryser, R. Light pollution in complex ecological systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378 (1892), October 2023. ISSN 1471-2970. doi: 10.1098/rstb.2022.0351.
 112. Sanders, D., Frago, E., Kehoe, R., Patterson, C. and Gaston, K.J. A meta-analysis of biological impacts of artificial light at night. *Nature Ecology & Evolution*, 5(1):74–81, nov 2020. doi: 10.1038/s41559-020-01322-x.
 113. Falcón, J., Torriglia, A., Attia, D., Viénot, F., Gronfier, C., Behar-Cohen, F., Martinsons, C. and Hicks, D. Exposure to artificial light at night and the consequences for flora, fauna, and ecosystems. *Frontiers in Neuroscience*, 14, nov 2020. doi: 10.3389/fnins.2020.602796.
 114. Brayley, O., How, D.M. and Wakefield, D.A. Biological effects of light pollution on terrestrial and marine organisms. *International Journal of Sustainable Lighting*, 24(1):13–38, mar 2022. doi: 10.26607/ijsl.v24i1.121.
 115. Premke, K., Wurzbacher, C., Felsmann, K., Fabian, J., Taube, R., Bodmer, P., Attermeyer, K., Nitzsche, K.N., Schroer, S., Koschorreck, M., Hübner, E., Mahmoudinejad, T.H., Kyba, C.C., Monaghan, M.T. and Hölker, F. Large-scale sampling of the freshwater microbiome suggests pollution-driven ecosystem changes. *Environmental Pollution*, 308:119627, sep 2022. doi: 10.1016/j.envpol.2022.119627.
 116. Rodríguez, A., Holmes, N.D., Ryan, P.G., Wilson, K.J., Faulquier, L., Murillo, Y., Raine, A.F., Penniman, J.F., Neves, V., Rodríguez, B., Negro, J.J., Chiaradia, A., Dann, P., Anderson, T., Metzger, B., Shirai, M., Deppe, L., Wheeler, J., Hodum, P., Gouveia, C. et al. Seabird mortality induced by land-based artificial lights. *Conservation Biology*, 31(5):986–1001, may 2017. doi: 10.1111/cobi.12900.
 117. de Jong, M., van den Eertwegh, L., Beskers, R.E., de Vries, P.P., Spoelstra, K. and Visser, M.E. Timing of avian breeding in an urbanised world. *Ardea*, 106(1):31, may 2018. doi: 10.5253/arde.v106i1.a4.
 118. Adams, C.A., Fernández-Juric, E., Bayne, E.M. and Clair, C.C.S. Effects of artificial light on bird movement and distribution: a systematic map. *Environmental Evidence*, 10(1), dec 2021. doi: 10.1186/s13750-021-00246-8.
 119. Knight, K. Blue and white light pollution is disastrous for cory's shearwater fledglings. *Journal of Experimental Biology*, 227(19), October 2024. ISSN 1477-9145. doi: 10.1242/jeb.249593.
 120. Bassi, A., Love, O.P., Cooke, S.J., Warriner, T.R., Harris, C.M. and Madliger, C.L. Effects of artificial light at night on fishes: A synthesis with future research priorities. *Fish and Fisheries*, 23(3):631–647, dec 2021. doi: 10.1111/faf.12638.
 121. Robert, K.A., Lesku, J.A., Partecke, J. and Chambers, B. Artificial light at night desynchronizes strictly seasonal reproduction in a wild mammal. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1816):20151745, oct 2015. doi: 10.1098/rspb.2015.1745.
 122. Hoffmann, J., Palme, R. and Eccard, J.A. Long-term dim light during nighttime changes activity patterns and space use in experimental small mammal populations. *Environmental Pollution*, 238:844–851, jul 2018. doi: 10.1016/j.envpol.2018.03.107.
 123. Kumari, R., Verma, V., Kronfeld-Schor, N. and Singaravel, M. Differential response of diurnal and nocturnal mammals to prolonged altered light-dark cycle: a possible role of mood associated endocrine, inflammatory and antioxidant system. *Chronobiology International*, 38(11):1618–1630, jun 2021. doi: 10.1080/07420528.2021.1937200.
 124. Kamrowski, R., Limpus, C., Moloney, J. and Hamann, M. Coastal light pollution and marine turtles: assessing the magnitude of the problem. *Endangered Species Research*, 19(1): 85–98, nov 2012. doi: 10.3354/esr00462.
 125. Zheleva, M. The dark side of light. light pollution kills leatherback turtle hatchlings. *Biodiscovery*, sep 2012. doi: 10.7750/biodiscovery.2012.3.4.
 126. Baxter-Gilbert, J., Baider, C., Florens, F.V., Hawlitschek, O., Mohan, A.V., Mohanty, N.P., Wagener, C., Webster, K.C. and Riley, J.L. Nocturnal foraging and activity by diurnal lizards: Six species of day geckos (phelsuma spp.) using the night-light niche. *Austral Ecology*, 46(3):501–506, feb 2021. doi: 10.1111/aec.13012.
 127. Dananay, K.L. and Benard, M.F. Artificial light at night decreases metamorphic duration and juvenile growth in a widespread amphibian. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1882):20180367, jul 2018. doi: 10.1098/rspb.2018.0367.
 128. Deng, K., Zhu, B.C., Zhou, Y., Chen, Q.H., Wang, T.L., Wang, J.C. and Cui, J.G. Mate choice decisions of female serrate-legged small treefrogs are affected by ambient light under natural, but not enhanced artificial nocturnal light conditions. *Behavioural Processes*, 169:103997, dec 2019. doi: 10.1016/j.beproc.2019.103997.
 129. Dias, K.S., Dosso, E.S., Hall, A.S., Schuch, A.P. and Tozetti, A.M. Ecological light pollution affects anuran calling season, daily calling period, and sensitivity to light in natural Brazilian wetlands. *The Science of Nature*, 106(7-8), jul 2019. doi: 10.1007/s00114-019-1640-y.
 130. Davies, T.W., Bennie, J., Cruse, D., Blumgart, D., Inger, R. and Gaston, K.J. Multiple night-time light-emitting diode lighting strategies impact grassland invertebrate assemblages. *Global Change Biology*, 23(7):2641–2648, jan 2017. doi: 10.1111/gcb.13615.
 131. Bennie, J., Davies, T.W., Cruse, D., Inger, R. and Gaston, K.J. Artificial light at night causes top-down and bottom-up trophic effects on invertebrate populations. *Journal of Applied Ecology*, 55(6):2698–2706, aug 2018. doi: 10.1111/1365-2664.13240.
 132. Desouhant, E., Gomes, E., Mondy, N. and Amat, I. Mechanistic, ecological, and evolutionary consequences of artificial light at night for insects: review and perspective. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 167(1):37–58, jan 2019. doi: 10.1111/eea.12754.
 133. Kavassilas, Z., Mittmannsgruber, M., Gruber, E. and Zaller, J.G. Artificial light at night reduces the surface activity of earthworms, increases the growth of a cover crop and reduces water leaching. *Land*, 13(10):1698, October 2024. ISSN 2073-445X. doi: 10.3390/land13101698.
 134. Gao, X., Zhang, M., Luo, Q., Lin, S., Lyu, M. and Ke, C. Persistent exposure to artificial light at night (alan) accelerates metamorphosis and colonization in larvae of marine shellfish. *Ecological Indicators*, 158:111472, January 2024. ISSN 1470-160X. doi: 10.1016/j.ecolind.2023.111472.
 135. Zhang, M., Gao, X., Luo, Q., Lin, S., Lyu, M., Luo, X., Ke, C. and You, W. Risk assessment of persistent exposure to artificial light at night revealed altered behavior and metabolic patterns of marine nocturnal shellfish. *Ecological Indicators*, 160:111807, March 2024. ISSN 1470-160X. doi: 10.1016/j.ecolind.2024.111807.
 136. Calbet, A. *The Unseen Threats: Effects of Sound and Light Pollution on Plankton*, pages 163–167. Springer Nature Switzerland, 2024. ISBN 9783031761218. doi: 10.1007/978-3-031-76121-8_26.
 137. Wang, G., Yuan, X., Xue, Q., Yu, Q., Yang, Z. and Sun, Y. The impact of artificial light pollution at night on the life history parameters of rotifer brachionus plicatilis with different food experiences. *Marine Pollution Bulletin*, 205:116527, August 2024. ISSN 0025-326X. doi: 10.1016/j.marpolbul.2024.116527.
 138. Roux, C., Madru, C., Millan Navarro, D., Jan, G., Mazzella, N., Moreira, A., Vedrenne, J., Carassou, L. and Morin, S. Impact of urban pollution on freshwater biofilms: Oxidative stress, photosynthesis and lipid responses. *Journal of Hazardous Materials*, 472:134523, July 2024. ISSN 0304-3894. doi: 10.1016/j.jhazmat.2024.134523.
 139. Di Bari, D. Natural light vs artificial light. effects of light pollution on the bioluminescence of dinoflagellate pyrocystis lunula. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, pages 79–98, December 2024. ISSN 1659-455X. doi: 10.15359/revmar.16-2.5.
 140. Škvareninová, J., Tuhárska, M., Škvarenina, J., Babálová, D., Slobodníková, L., Slobodník, B., Štředová, H. and Mindáš, J. Effects of light pollution on tree phenology in the urban environment. *Moravian Geographical Reports*, 25(4):282–290, dec 2017. doi: 10.1515/mgr-2017-0024.
 141. Brelsford, C.C. and Robson, T.M. Blue light advances bud burst in branches of three deciduous tree species under short-day conditions. *Trees*, 32(4):1157–1164, mar 2018. doi: 10.1007/s00468-018-1684-1.
 142. Dani, M., Molnár, P. and Skribanek, A. The sensitivity of herbaceous plants to light pollution. *Acta Universitatis de Carolo Eszterházy Nominatae. Sectio Biologicae*, 46:173–181, 2021. doi: 10.33041/actauniverszestehazybiol.2021.46.173.
 143. Hou, Y., Li, J., Li, G. and Qi, W. Negative effects of urbanization on plants: A global meta-analysis. *Ecology and Evolution*, 13(4), March 2023. ISSN 2045-7758. doi: 10.1002/ece3.9894.
 144. Khanduri, M. and Saxena, A. Ecological light pollution: Consequences for the aquatic ecosystem. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 8(3):1–5, 2020.

145. Hölker, F., Jechow, A., Schroer, S., Tockner, K. and Gessner, M.O. Light pollution of freshwater ecosystems: principles, ecological impacts and remedies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1892), October 2023. ISSN 1471-2970. doi: 10.1098/rstb.2022.0360.
146. Davies, T.W., McKee, D., Fishwick, J., Tidau, S. and Smyth, T. Biologically important artificial light at night on the seafloor. *Scientific Reports*, 10(1), jul 2020. doi: 10.1038/s41598-020-69461-6.
147. Tidau, S., Smyth, T., McKee, D., Wiedenmann, J., D'Angelo, C., Wilcockson, D., Ellison, A., Grimmer, A.J., Jenkins, S.R., Widdicombe, S., Queirós, A.M., Talbot, E., Wright, A. and Davies, T.W. Marine artificial light at night: An empirical and technical guide. *Methods in Ecology and Evolution*, 12(9):1588–1601, jul 2021. doi: 10.1111/2041-210x.13653.
148. Fobert, E.K., Miller, C.R., Swearer, S.E. and Mayer-Pinto, M. The impacts of artificial light at night on the ecology of temperate and tropical reefs. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1892), October 2023. ISSN 1471-2970. doi: 10.1098/rstb.2022.0362.
149. Miller, C.R. and Rice, A.N. A synthesis of the risks of marine light pollution across organismal and ecological scales. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 33(12):1590–1602, September 2023. ISSN 1099-0755. doi: 10.1002/aqc.4011.
150. Stanton, D.L. and Cowart, J.R. The effects of artificial light at night (alan) on the circadian biology of marine animals. *Frontiers in Marine Science*, 11, February 2024. ISSN 2296-7745. doi: 10.3389/fmars.2024.1372889.
151. Berge, J., Geoffroy, M., Daase, M., Cottier, F., Priou, P., Cohen, J.H., Johnsen, G., McKee, D., Kostakis, I., Renaud, P.E., Vogedes, A., Anderson, P., Last, K.S. and Gauthier, S. Artificial light during the polar night disrupts arctic fish and zooplankton behaviour down to 200 m depth. *Communications Biology*, 3(1), mar 2020. doi: 10.1038/s42003-020-0807-6.
152. Davies, T.W., Bennie, J., Inger, R., Ibarra, N.H. and Gaston, K.J. Artificial light pollution: are shifting spectral signatures changing the balance of species interactions? *Global Change Biology*, 19(5):1417–1423, mar 2013. doi: 10.1111/gcb.12166.
153. Longcore, T., Rodríguez, A., Witherington, B., Penniman, J.F., Herf, L. and Herf, M. Rapid assessment of lamp spectrum to quantify ecological effects of light at night. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 329(8-9):511–521, jun 2018. doi: 10.1002/jez.2184.
154. Svehckina, A., Portnov, B.A. and Trop, T. The impact of artificial light at night on human and ecosystem health: a systematic literature review. *Landscape Ecology*, 35(8):1725–1742, jun 2020. doi: 10.1007/s10980-020-01053-1.
155. Farnworth, B., Innes, J. and Waas, J.R. Converting predation cues into conservation tools: The effect of light on mouse foraging behaviour. *PLOS ONE*, 11(1):e0145432, jan 2016. doi: 10.1371/journal.pone.0145432.
156. Silva, A.D., Díez-Méndez, D. and Kempnaers, B. Effects of experimental night lighting on the daily timing of winter foraging in common european songbirds. *Journal of Avian Biology*, 48(6):862–871, apr 2017. doi: 10.1111/jav.01232.
157. Leveau, L.M. Artificial light at night (ALAN) is the main driver of nocturnal feral pigeon (*Columba livia f. domestica*) foraging in urban areas. *Animals*, 10(4):554, mar 2020. doi: 10.3390/ani10040554.
158. Tidau, S., Whittle, J., Jenkins, S.R. and Davies, T.W. Artificial light at night reverses monthly foraging pattern under simulated moonlight. *Biology Letters*, 18(7), jul 2022. doi: 10.1098/rsbl.2022.0110.
159. Stone, E.L., Jones, G. and Harris, S. Street lighting disturbs commuting bats. *Current Biology*, 19(13):1123–1127, jul 2009. doi: 10.1016/j.cub.2009.05.058.
160. Kurvers, R.H.J.M., Drägestein, J., Hölker, F., Jechow, A., Krause, J. and Bierbach, D. Artificial light at night affects emergence from a refuge and space use in guppies. *Scientific Reports*, 8(1), sep 2018. doi: 10.1038/s41598-018-32466-3.
161. Agarwal, N., Srivastava, S., Malik, S., Rani, S. and Kumar, V. Altered light conditions during spring: effects on timing of migration and reproduction in migratory redheaded bunting (*Emberiza bruniceps*). *Biological Rhythm Research*, 46(5):647–657, may 2015. doi: 10.1080/09291016.2015.1046245.
162. Tallec, T.L., Théry, M. and Perret, M. Melatonin concentrations and timing of seasonal reproduction in male mouse lemurs (*Microcebus murinus*) exposed to light pollution. *Journal of Mammalogy*, 97(3):753–760, jan 2016. doi: 10.1093/jmammal/gyw003.
163. Dominoni, D.M., Jensen, J.K., Jong, M., Visser, M.E. and Spoelstra, K. Artificial light at night, in interaction with spring temperature, modulates timing of reproduction in a passerine bird. *Ecological Applications*, 30(3), jan 2020. doi: 10.1002/eap.2062.
164. Meng, L., Zhou, Y., Román, M.O., Stokes, E.C., Wang, Z., Asrar, G.R., Mao, J., Richardson, A.D., Gu, L. and Wang, Y. Artificial light at night: an underappreciated effect on phenology of deciduous woody plants. *PNAS Nexus*, 1(2), apr 2022. doi: 10.1093/pnasnexus/pgac046.
165. Torres, D., Tidau, S., Jenkins, S. and Davies, T. Artificial skyglow disrupts celestial migration at night. *Current Biology*, 30(12):R696–R697, jun 2020. doi: 10.1016/j.cub.2020.05.002.
166. Horton, K.G., Buler, J.J., Anderson, S.J., Burt, C.S., Collins, A.C., Dokter, A.M., Guo, F., Sheldon, D., Tomaszewska, M.A. and Henebery, G.M. Artificial light at night is a top predictor of bird migration stopover density. *Nature Communications*, 14(1), December 2023. ISSN 2041-1723. doi: 10.1038/s41467-023-43046-z.
167. Geffen, K.G.V., Groot, A.T., Grunsven, R.H.A.V., Donners, M., Berendse, F. and Veenedaal, E.M. Artificial night lighting disrupts sex pheromone in a noctuid moth. *Ecological Entomology*, 40(4):401–408, apr 2015. doi: 10.1111/een.12202.
168. Borges, R.M. Dark matters: Challenges of nocturnal communication between plants and animals in delivery of pollination services. *Yale Journal of Biology and Medicine*, 91:33–42, 2018.
169. Dickerson, A.L., Hall, M.L. and Jones, T.M. Effects of variation in natural and artificial light at night on acoustic communication: a review and prospectus. *Animal Behaviour*, 198: 93–105, apr 2023. ISSN 0003-3472. doi: 10.1016/j.anbehav.2023.01.018.
170. Moralia, M.A., Quignon, C., Simonneaux, M. and Simonneaux, V. Environmental disruption of reproductive rhythms. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 66:100990, jul 2022. doi: 10.1016/j.yfrne.2022.100990.
171. Hopkins, G.R., Gaston, K.J., Visser, M.E., Elgar, M.A. and Jones, T.M. Artificial light at night as a driver of evolution across urban–rural landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(8):472–479, sep 2018. doi: 10.1002/fee.1828.
172. Keinath, S., Hölker, F., Müller, J. and Rödel, M.O. Impact of light pollution on moth morphology—a 137-year study in Germany. *Basic and Applied Ecology*, 56:1–10, nov 2021. doi: 10.1016/j.baaec.2021.05.004.
173. Alaasam, V.J., Hui, C., Lomas, J., Ferguson, S.M., Zhang, Y., Yim, W.C. and Ouyang, J.Q. What happens when the lights are left on? transcriptomic and phenotypic habituation to light pollution. *iScience*, 27(2):108864, February 2024. ISSN 2589-0042. doi: 10.1016/j.isci.2024.108864.
174. Van de Schoot, E., Merckx, T., Ebert, D., Wesselingh, R.A., Altermatt, F. and Van Dyck, H. Evolutionary change in flight-to-light response in urban moths comes with changes in wing morphology. *Biology Letters*, 20(3), March 2024. ISSN 1744-957X. doi: 10.1098/rsbl.2023.0486.
175. May, D., Shidemantle, G., Melnick-Kelley, Q., Crane, K. and Hua, J. The effect of intensified illuminance and artificial light at night on fitness and susceptibility to abiotic and biotic stressors. *Environmental Pollution*, 251:600–608, aug 2019. doi: 10.1016/j.envpol.2019.05.016.
176. Walker, W.H., Meléndez-Fernández, O.H., Nelson, R.J. and Reiter, R.J. Global climate change and invariable photoperiods: A mismatch that jeopardizes animal fitness. *Ecology and Evolution*, 9(17):10044–10054, aug 2019. doi: 10.1002/ece3.5537.
177. Lian, X., Jiao, L., Zhong, J., Jia, Q., Liu, J. and Liu, Z. Artificial light pollution inhibits plant phenology advance induced by climate warming. *Environmental Pollution*, 291:118110, dec 2021. doi: 10.1016/j.envpol.2021.118110.
178. Durrant, J., Green, M.P. and Jones, T.M. Dim artificial light at night reduces the cellular immune response of the black field cricket, *Teleogryllus commodus*. *Insect Science*, 27(3): 571–582, mar 2019. doi: 10.1111/1744-7917.12665.
179. Thoenen, J., Ripper, D. and Duke, E. Light pollution and immunosuppression: Determining the role of artificial lighting in coccidiosis in non-migratory birds. *The Bluebird*, 86(3):131–140, 2019.
180. Walker, W.H., Bumgarner, J.R., Becker-Krail, D.D., May, L.E., Liu, J.A. and Nelson, R.J. Light at night disrupts biological clocks, calendars, and immune function. *Seminars in Immunopathology*, nov 2021. doi: 10.1007/s00281-021-00899-0.
181. Bonfey, A.M., Chen, J. and Stahlschmidt, Z.R. Stress tolerance is influenced by artificial light at night during development and life-history strategy. *Journal of Experimental Biology*, 226(4), February 2023. ISSN 1477-9145. doi: 10.1242/jeb.245195.
182. Pham, K., Lazenby, M., Yamada, K., Lattin, C.R. and Wada, H. Zebra finches (*Taeniopygia castanotis*) display varying degrees of stress resilience in response to constant light. *General and Comparative Endocrinology*, 361:114644, January 2025. ISSN 0016-6480. doi: 10.1016/j.ygcen.2024.114644.
183. Cissé, Y.M., Russart, K.L. and Nelson, R.J. Parental exposure to dim light at night prior to mating alters offspring adaptive immunity. *Scientific Reports*, 7(1), mar 2017. doi: 10.1038/srep45497.
184. Cissé, Y.M., Russart, K. and Nelson, R.J. Exposure to dim light at night prior to conception attenuates offspring innate immune responses. *PLOS ONE*, 15(4):e0231140, apr 2020. doi: 10.1371/journal.pone.0231140.
185. Brown, J.A., Lockwood, J.L., Piana, M.R. and Beardsley, C. Introduction of artificial light at night increases the abundance of predators, scavengers, and parasites in arthropod communities. *iScience*, 26(3):106203, March 2023. ISSN 2589-0042. doi: 10.1016/j.isci.2023.106203.
186. Moyse, E., Firth, L.B., Smyth, T., Tidau, S. and Davies, T.W. Artificial light at night alters predation on colour-polymorphic camouflaged prey. *Basic and Applied Ecology*, 73:88–93, December 2023. ISSN 1439-1791. doi: 10.1016/j.baaec.2023.11.002.
187. Becker, D.J., Singh, D., Pan, Q., Montoure, J.D., Talbot, K.M., Wanamaker, S.M. and Ketterson, E.D. Artificial light at night amplifies seasonal relapse of haemosporidian parasites in a widespread songbird. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 287(1935):20201831, sep 2020. doi: 10.1098/rspb.2020.1831.
188. Poulin, R. Light pollution may alter host-parasite interactions in aquatic ecosystems. *Trends in Parasitology*, 39(12):1050–1059, December 2023. ISSN 1471-4922. doi: 10.1016/j.pt.2023.08.013.
189. Buxton, R.T., Seymoure, B.M., White, J., Angeloni, L.M., Crooks, K.R., Fristrup, K., McKenna, M.F. and Wittemyer, G. The relationship between anthropogenic light and noise in u.s. national parks. *Landscape Ecology*, 35(6):1371–1384, may 2020. doi: 10.1007/s10980-020-01020-w.
190. Halfwerk, W. and Jerem, P. A systematic review of research investigating the combined ecological impact of anthropogenic noise and artificial light at night. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, nov 2021. doi: 10.3389/fevo.2021.765950.
191. Willems, J.S., Phillips, J.N. and Francis, C.D. Artificial light at night and anthropogenic noise alter the foraging activity and structure of vertebrate communities. *Science of The Total Environment*, 805:150223, jan 2022. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150223.
192. Easton, A., Komyakova, V. and Coughlin, T. Evaluating ecological risk in artificial habitat failure: A systematic review and risk assessment considering noise and light pollution in the marine environment. *Environmental Impact Assessment Review*, 107:107560, July 2024. ISSN 0195-9255. doi: 10.1016/j.eiar.2024.107560.
193. Mathiaparanam, K.J., Mulder, R.A. and Hale, R. Anthropogenic double jeopardy: Urban noise and artificial light at night interact synergistically to influence abundance. *Environmental Pollution*, 363:125078, December 2024. ISSN 0269-7491. doi: 10.1016/j.envpol.2024.125078.

2024.125078.

194. Gaston, K.J., Duffy, J.P., Gaston, S., Bennie, J. and Davies, T.W. Human alteration of natural light cycles: causes and ecological consequences. *Oecologia*, 176(4):917–931, sep 2014. doi: 10.1007/s00442-014-3088-2.
195. Russart, K.L. and Nelson, R.J. Light at night as an environmental endocrine disruptor. *Physiology & Behavior*, 190:82–89, jun 2018. doi: 10.1016/j.physbeh.2017.08.029.
196. Yang, Y., Liu, Q., Wang, T. and Pan, J. Wavelength-specific artificial light disrupts molecular clock in avian species: A power-calibrated statistical approach. *Environmental Pollution*, 265:114206, oct 2020. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114206.
197. Foster, J.J., Kirwan, J.D., el Jundi, B., Smolka, J., Khaldy, L., Baird, E., Byrne, M.J., Nilsson, D.E., Johnsen, S. and Dacke, M. Orienting to polarized light at night – matching lunar skylight to performance in a nocturnal beetle. *The Journal of Experimental Biology*, 222(2):jeb188532, dec 2018. doi: 10.1242/jeb.188532.
198. Lao, S., Robertson, B.A., Anderson, A.W., Blair, R.B., Eckles, J.W., Turner, R.J. and Loss, S.R. The influence of artificial light at night and polarized light on bird-building collisions. *Biological Conservation*, 241:108358, jun 2020. doi: 10.1016/j.biocon.2019.108358.
199. Qu, X., Huang, Q., Li, H. and Lou, F. Comparative transcriptomics revealed the ecological trap effect of linearly polarized light on *oratosquilla oratoria*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*, 50:101234, June 2024. ISSN 1744-117X. doi: 10.1016/j.cbcd.2024.101234.
200. Fraleigh, D.C., Heitmann, J.B. and Robertson, B.A. Ultraviolet polarized light pollution and evolutionary traps for aquatic insects. *Animal Behaviour*, 180:239–247, oct 2021. doi: 10.1016/j.anbehav.2021.08.006.
201. Pérez Vega, C., Hölker, F., Zielinska-Dabkowska, K.M. and Jechow, A. Polarised light pollution on river water surfaces caused by artificial light at night from illuminated bridges and surroundings. *Journal of Limnology*, 83, May 2024. ISSN 1129-5767. doi: 10.4081/jlimnol.2024.2173.
202. Horváth, G. *Polarized Light Pollution and Ecological/Evolutionary Traps Induced by It for Polarotactic Aquatic Insects*, pages 477–560. Springer Nature Switzerland, 2024. ISBN 9783031628634. doi: 10.1007/978-3-031-62863-4_25.
203. Kyba, C.C.M., Ruhtz, T., Fischer, J. and Hölker, F. Lunar skylight polarization signal polluted by urban lighting: Pollution of lunar skylight signal. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D24):n/a–n/a, December 2011. ISSN 0148-0227. doi: 10.1029/2011jd016698.
204. Horváth, G., Kriska, G., Malik, P. and Robertson, B. Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(6):317–325, aug 2009. doi: 10.1890/080129.
205. Degen, T., Kolláth, Z. and Degen, J. X.y. and z: A bird's eye view on light pollution. *Ecology and Evolution*, 12(12), dec 2022. doi: 10.1002/ece3.9608.
206. Kehoe, R., Sanders, D. and van Veen, F.J. Towards a mechanistic understanding of the effects of artificial light at night on insect populations and communities. *Current Opinion in Insect Science*, 53:100950, oct 2022. doi: 10.1016/j.cois.2022.100950.
207. Sanders, D., Hirt, M.R., Brose, U., Evans, D.M., Gaston, K.J., Gauzens, B. and Ryser, R. How artificial light at night may rewire ecological networks: concepts and models. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1892), October 2023. ISSN 1471-2970. doi: 10.1098/rstb.2022.0368.
208. Li, X.M., Li, S., Huang, F.Y., Wang, Z., Zhang, Z.Y., Chen, S.C. and Zhu, Y.G. Artificial light at night triggers negative impacts on nutrients cycling and plant health regulated by soil microbiome in urban ecosystems. *Geoderma*, 436:116547, August 2023. ISSN 0016-7061. doi: 10.1016/j.geoderma.2023.116547.
209. Russart, K.L. and Nelson, R.J. Artificial light at night alters behavior in laboratory and wild animals. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 329(8-9):401–408, may 2018. doi: 10.1002/jez.2173.
210. Jägerbrand, A.K. and Spoelstra, K. Effects of anthropogenic light on species and ecosystems. *Science*, 380(6650):1125–1130, June 2023. ISSN 1095-9203. doi: 10.1126/science.adg3173.
211. Maggi, E., Bongiorno, L., Fontanini, D., Capocchi, A., Bello, M.D., Giacomelli, A. and Benedetti-Cecchi, L. Artificial light at night erases positive interactions across trophic levels. *Functional Ecology*, 34(3):694–706, dec 2019. doi: 10.1111/1365-2435.13485.
212. Fisher, D.N., Kilgour, R.J., Siracusa, E.R., Foote, J.R., Hobson, E.A., Montiglio, P.O., Saltz, J.B., Wey, T.W. and Wice, E.W. Anticipated effects of abiotic environmental change on intraspecific social interactions. *Biological Reviews*, 96(6):2661–2693, jul 2021. doi: 10.1111/brev.12772.
213. Grubisic, M. and van Grunsven, R.H. Artificial light at night disrupts species interactions and changes insect communities. *Current Opinion in Insect Science*, 47:136–141, oct 2021. doi: 10.1016/j.cois.2021.06.007.
214. Cieraad, E., Strange, E., Flink, M., Schrama, M. and Spoelstra, K. Artificial light at night affects plant-herbivore interactions. *Journal of Applied Ecology*, dec 2022. doi: 10.1111/1365-2664.14336.
215. Sullivan, S.M.P., Hossler, K. and Meyer, L.A. Artificial lighting at night alters aquatic-riparian invertebrate food webs. *Ecological Applications*, 29(1), dec 2018. doi: 10.1002/eap.1821.
216. Parkinson, E., Lawson, J. and Tieg, S.D. Artificial light at night at the terrestrial-aquatic interface: Effects on predators and fluxes of insect prey. *PLOS ONE*, 15(10):e0240138, oct 2020. doi: 10.1371/journal.pone.0240138.
217. Farnworth, B., Meitern, R., Innes, J. and Waas, J.R. Increasing predation risk with light reduces speed, exploration and visit duration of invasive ship rats (*rattus rattus*). *Scientific Reports*, 9(1), mar 2019. doi: 10.1038/s41598-019-39711-3.
218. Russo, D., Cosentino, F., Festa, F., Benedetta, F.D., Pejic, B., Cerretti, P. and Ancillotto, L. Artificial illumination near rivers may alter bat-insect trophic interactions. *Environmental Pollution*, 252:1671–1677, sep 2019. doi: 10.1016/j.envpol.2019.06.105.
219. Mcmunn, M.S., Yang, L.H., Ansalmo, A., Bucknam, K., Claret, M., Clay, C., Cox, K., Dungey, D.R., Jones, A., Kim, A.Y., Kubacki, R., Le, R., Martinez, D., Reynolds, B., Schroder, J. and Wood, E. Artificial light increases local predator abundance, predation rates, and herbivory. *Environmental Entomology*, 48(6):1331–1339, sep 2019. doi: 10.1093/ee/nvz103.
220. Katz, N., Pruitt, J.N. and Scharf, I. The complex effect of illumination, temperature, and thermal acclimation on habitat choice and foraging behavior of a pit-building wormlion. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 71(9), aug 2017. doi: 10.1007/s00265-017-2362-9.
221. Fobert, E.K., da Silva, K.B. and Swearer, S.E. Artificial light at night causes reproductive failure in clownfish. *Biology Letters*, 15(7):20190272, jul 2019. doi: 10.1098/rsbl.2019.0272.
222. Thompson, E.K., Cullinan, N.L., Jones, T.M. and Hopkins, G.R. Effects of artificial light at night and male calling on movement patterns and mate location in field crickets. *Animal Behaviour*, 158:183–191, dec 2019. doi: 10.1016/j.anbehav.2019.10.016.
223. Shlesinger, T. and Loya, Y. Breakdown in spawning synchrony: A silent threat to coral persistence. *Science*, 365(6457):1002–1007, sep 2019. doi: 10.1126/science.aax0110.
224. Hillón-Salas, J.S., Pineda-Dueñas, J.D., Romero-Chacón, A.M., Fonseca-Tellez, J., Cardona-Restrepo, M., Garrido-Villegas, S.C., Mejía-Tovar, D., Arenas-Ríos, C., Gaitán-Botero, L., Barón-Garzon, Z.S., Robayo-Salé, A.F., Pulido-Guarín, H., Ovalle-Barrera, J.J., Macías-González, A.D., Bernal-Guaitón, N. and Maldonado-Chaparro, A.A. Artificial light at night reduces flashing in photinus and photinus fireflies during courtship and predation. *Journal of Insect Behavior*, 37(1):49–57, March 2024. ISSN 1572-8889. doi: 10.1007/s10905-024-09849-8.
225. Cammaerts, M.C. and Cammaerts, R. Effect of nocturnal lighting on an ant's ethological and physiological traits. *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 4(5), oct 2019. doi: 10.15406/mojes.2019.04.00156.
226. Aguilera, M.A. and González, M.G. Urban infrastructure expansion and artificial light pollution degrade coastal ecosystems, increasing natural-to-urban structural connectivity. *Landscape and Urban Planning*, 229:104609, January 2023. ISSN 0169-2046. doi: 10.1016/j.landurbplan.2022.104609.
227. Lacoëuilhe, A., Machon, N., Julien, J.F., Bocq, A.L. and Kerbiriou, C. The influence of low intensities of light pollution on bat communities in a semi-natural context. *PLoS ONE*, 9(10):e03042, oct 2014. doi: 10.1371/journal.pone.0103042.
228. Firebaugh, A. and Haynes, K.J. Light pollution may create demographic traps for nocturnal insects. *Basic and Applied Ecology*, 34:118–125, feb 2019. doi: 10.1016/j.baec.2018.07.005.
229. Murphy, S.M., Vyas, D.K., Sher, A.A. and Grenis, K. Light pollution affects invasive and native plant traits important to plant competition and herbivorous insects. *Biological Invasions*, 24(3):599–602, nov 2021. doi: 10.1007/s10530-021-02670-w.
230. Atchoi, E., Mitkus, M., Machado, B., Medeiros, V., Garcia, S., Juliano, M., Bried, J. and Rodríguez, A. Do seabirds dream of artificial lights? understanding light preferences of procellariiformes. *Journal of Experimental Biology*, 227(19), October 2024. ISSN 1477-9145. doi: 10.1242/jeb.247665.
231. Parkins, K.L., Elbin, S.B. and Barnes, E. Light, glass, and bird—building collisions in an urban park. *Northeastern Naturalist*, 22(1):84–94, mar 2015. doi: 10.1656/045.022.0113.
232. Hüppop, O., Hüppop, K., Dierschke, J. and Hill, R. Bird collisions at an offshore platform in the north sea. *Bird Study*, 63(1):73–82, jan 2016. doi: 10.1080/00063657.2015.1134440.
233. Voigt, C.C., Roelcke, M., Marggraf, L., Pétersson, G. and Voigt-Heucke, S.L. Migratory bats respond to artificial green light with positive phototaxis. *PLOS ONE*, 12(5):e0177748, may 2017. doi: 10.1371/journal.pone.0177748.
234. Krafitz, M.A. and Krag, L.A. Antarctic krill (*euphausia superba*) exhibit positive phototaxis to white LED light. *Polar Biology*, 44(3):483–489, feb 2021. doi: 10.1007/s00300-021-02814-7.
235. Syposz, M., Padgett, O., Willis, J., Doren, B.M.V., Gillies, N., Fayet, A.L., Wood, M.J., Alejo, A. and Guilford, T. Avoidance of different durations, colours and intensities of artificial light by adult seabirds. *Scientific Reports*, 11(1), sep 2021. doi: 10.1038/s41598-021-97986-x.
236. Vowles, A.S. and Kemp, P.S. Artificial light at night (ALAN) affects the downstream movement behaviour of the critically endangered european eel, *anguilla anguilla*. *Environmental Pollution*, 274:116585, apr 2021. doi: 10.1016/j.envpol.2021.116585.
237. Hauptfleisch, M. Arthropod phototaxis and its possible effect on bird strike risk at two namibian airports. *Applied Ecology and Environmental Research*, 13(4):957–965, Dec 2015. doi: 10.15666/aer/1304_957965.
238. van Grunsven, R.H., Creemers, R., Joosten, K., Donners, M. and Veenendaal, E.M. Behaviour of migrating toads under artificial lights differs from other phases of their life cycle. *Amphibia-Reptilia*, 38(1):49–55, 2017. doi: 10.1163/15685381-00003081.
239. Kühne, J.L., van Grunsven, R.H.A., Jechow, A. and Hölker, F. Impact of different wavelengths of artificial light at night on phototaxis in aquatic insects. *Integrative and Comparative Biology*, 61(3):1182–1190, jun 2021. doi: 10.1093/icb/ibab149.
240. Koen, E.L., Minnaar, C., Roevers, C.L. and Boyles, J.G. Emerging threat of the 21st century lightscape to global biodiversity. *Global Change Biology*, 24(6):2315–2324, apr 2018. doi: 10.1111/gcb.14146.
241. Garrett, J.K., Donald, P.F. and Gaston, K.J. Skyglow extends into the world's key biodiversity areas. *Animal Conservation*, 23(2):153–159, feb 2019. doi: 10.1111/acv.12480.
242. Karan, S., Saraswat, S. and Anusha, B.S. Light pollution and the impacts on biodiversity: the dark side of light. *Biodiversity*, 24(4):194–199, August 2023. ISSN 2160-0651. doi: 10.1080/14888386.2023.2244920.
243. Giavi, E., Blösch, S., Schuster, G. and Knop, E. Artificial light at night can modify ecosystem functioning beyond the lit area. *Scientific Reports*, 10(1), jul 2020. doi: 10.1038/s41598-020-68667-y.
244. Boyes, D.H., Evans, D.M., Fox, R., Parsons, M.S. and Pocock, M.J.O. Street lighting has detrimental impacts on local insect populations. *Science Advances*, 7(35), aug 2021. doi: 10.1126/sciadv.abi8322.

245. Murphy, S.M., Vyas, D.K., Hoffman, J.L., Jenck, C.S., Washburn, B.A., Hunnicutt, K.E., Davidson, A., Andersen, J.M., Bennet, R.K., Gifford, A., Herrera, M., Lawler, B., Lorman, S., Peacock, V., Walker, L., Watkins, E., Wilkinson, L., Williams, Z. and Tinghitella, R.M. Streetlights positively affect the presence of an invasive grass species. *Ecology and Evolution*, 11(15):10320–10326, jul 2021. doi: 10.1002/ece3.7835.
246. Liu, Y. and Heinen, R. Plant invasions under artificial light at night. *Trends in Ecology & Evolution*, 39(8):703–705, August 2024. ISSN 0169-5347. doi: 10.1016/j.tree.2024.05.005.
247. Tougeron, K. and Sanders, D. Combined light pollution and night warming as a novel threat to ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(8):701–704, August 2023. ISSN 0169-5347. doi: 10.1016/j.tree.2023.05.012.
248. Seymoure, B.M., Linares, C. and White, J. Connecting spectral radiometry of anthropogenic light sources to the visual ecology of organisms. *Journal of Zoology*, 308(2): 93–110, feb 2019. doi: 10.1111/jzo.12656.
249. Jägerbrand, A. and Brutemark, A. Correspondence: Addressing and mitigating the ecological effects of light pollution requires ecological perspectives. *Lighting Research & Technology*, page 147715352211424, dec 2022. doi: 10.1177/14771535221142489.
250. Sordello, R., Busson, S., Cornuau, J.H., Deverchère, P., Faure, B., Guetté, A., Hölker, F., Kerbiriou, C., Lengagne, T., Viol, I.L., Longcore, T., Moeschler, P., Ranzoni, J., Ray, N., Reyjol, Y., Roulet, Y., Schroer, S., Secondi, J., Valet, N., Vanpeene, S. et al. A plea for a worldwide development of dark infrastructure for biodiversity – practical examples and ways to go forward. *Landscape and Urban Planning*, 219:104332, mar 2022. doi: 10.1016/j.landurbplan.2021.104332.
251. Morrell, S., Hatchell, J., Wordingham, F., Bennie, J., Inston, M.J. and Gaston, K.J. Changing streetlighting schemes and the ecological availability of darkness. *Journal of The Royal Society Interface*, 21(211), February 2024. ISSN 1742-5662. doi: 10.1098/rsif.2023.0555.
252. Diätenberger, M., Jechow, A., Kalinkat, G., Schroer, S., Saathoff, B. and Hölker, F. Reducing the fatal attraction of nocturnal insects using tailored and shielded road lights. *Communications Biology*, 7(1), May 2024. ISSN 2399-3642. doi: 10.1038/s42003-024-06304-4.
253. Durmus, D., Jägerbrand, A. and Tengel, M. Research note: Red light to mitigate light pollution: Is it possible to balance functionality and ecological impact? *Lighting Research & Technology*, 56(3):304–308, January 2024. ISSN 1477-0938. doi: 10.1177/14771535231225362.
254. Owens, A.C., Pocock, M.J. and Seymoure, B.M. Current evidence in support of insect-friendly lighting practices. *Current Opinion in Insect Science*, 66:101276, December 2024. ISSN 2214-5745. doi: 10.1016/j.cois.2024.101276.
255. Wiltshchko, W. and Wiltshchko, R. Magnetic orientation in birds. *Journal of Experimental Biology*, 199(1):29–38, jan 1996. doi: 10.1242/jeb.199.1.29.
256. Cochran, W.W., Mouritsen, H. and Wikelski, M. Migrating songbirds recalibrate their magnetic compass daily from twilight cues. *Science*, 304(5669):405–408, apr 2004. doi: 10.1126/science.1095844.
257. Wiltshchko, R., Stapput, K., Thalau, P. and Wiltshchko, W. Directional orientation of birds by the magnetic field under different light conditions. *Journal of The Royal Society Interface*, 7(suppl_2), oct 2009. doi: 10.1098/rsif.2009.0367.focus.
258. Wiltshchko, W., Munro, U., Ford, H. and Wiltshchko, R. Red light disrupts magnetic orientation of migratory birds. *Nature*, 364(6437):525–527, aug 1993. doi: 10.1038/364525a0.
259. Sorte, F.A.L., Horton, K.G., Johnston, A., Fink, D. and Auer, T. Seasonal associations with light pollution trends for nocturnally migrating bird populations. *Ecosphere*, 13(3), mar 2022. doi: 10.1002/ecs2.3994.
260. Sorte, F.A.L., Fink, D., Buler, J.J., Farnsworth, A. and Cabrera-Cruz, S.A. Seasonal associations with urban light pollution for nocturnally migrating bird populations. *Global Change Biology*, 23(11):4609–4619, jul 2017. doi: 10.1111/gcb.13792.
261. Horton, K.G., Nilsson, C., Doren, B.M.V., Sorte, F.A.L., Dokter, A.M. and Farnsworth, A. Bright lights in the big cities: migratory birds' exposure to artificial light. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(4):209–214, apr 2019. doi: 10.1002/fee.2029.
262. Bolshakov, C.V., Bulyuk, V.N., Sinelschikova, A.Y. and Vorotkov, M.V. Influence of the vertical light beam on numbers and flight trajectories of night-migrating songbirds. *Avian Ecology and Behaviour*, 24:35–49, 2013.
263. Cabrera-Cruz, S.A., Larkin, R.P., Gimpel, M.E., Gruber, J.G., Zenzal, T.J. and Buler, J.J. Potential effect of low-rise, downcast artificial lights on nocturnally migrating land birds. *Integrative and Comparative Biology*, 61(3):1216–1236, jul 2021. doi: 10.1093/icb/icab154.
264. Nichols, K.S., Homayoun, T., Eckles, J. and Blair, R.B. Bird-building collision risk: An assessment of the collision risk of birds with buildings by phylogeny and behavior using two citizen-science datasets. *PLOS ONE*, 13(8):e0201558, aug 2018. doi: 10.1371/journal.pone.0201558.
265. Sorte, F.A.L., Lepczyk, C.A. and Aronson, M.F.J. Light pollution enhances ground-level exposure to airborne toxic chemicals for nocturnally migrating passerines. *Global Change Biology*, 29(1):57–68, oct 2022. doi: 10.1111/gcb.16443.
266. Sorte, F.A.L., Aronson, M.F.J., Lepczyk, C.A. and Horton, K.G. Assessing the combined threats of artificial light at night and air pollution for the world's nocturnally migrating birds. *Global Ecology and Biogeography*, 31(5):912–924, feb 2022. doi: 10.1111/gcb.13466.
267. Cabrera-Cruz, S.A., Cohen, E.B., Smolinsky, J.A. and Buler, J.J. Artificial light at night is related to broad-scale stopover distributions of nocturnally migrating landbirds along the yucatan peninsula, mexico. *Remote Sensing*, 12(3):395, jan 2020. doi: 10.3390/rs12030395.
268. Cabrera-Cruz, S.A., Smolinsky, J.A., McCarthy, K.P. and Buler, J.J. Urban areas affect flight altitudes of nocturnally migrating birds. *Journal of Animal Ecology*, 88(12):1873–1887, aug 2019. doi: 10.1111/1365-2656.13075.
269. Doren, B.M.V., Horton, K.G., Dokter, A.M., Klinck, H., Elbin, S.B. and Farnsworth, A. High-intensity urban light installation dramatically alters nocturnal bird migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(42):11175–11180, oct 2017. doi: 10.1073/pnas.1708574114.
270. Wong, M.K.L. and Didham, R.K. Global meta-analysis reveals overall higher nocturnal than diurnal activity in insect communities. *Nature Communications*, 15(1), April 2024. ISSN 2041-1723. doi: 10.1038/s41467-024-47645-2.
271. Rydin, C. and Bolinder, K. Moonlight pollination in the gymnosperm ephedra (gnetales). *Biology Letters*, 11(4):20140993, apr 2015. doi: 10.1098/rsbl.2014.0993.
272. Dyer, A., Ryser, R., Brose, U., Amyntas, A., Bodnar, N., Boy, T., Franziska Bucher, S., Cesarz, S., Eisenhauer, N., Gebler, A., Hines, J., Kyba, C.C.M., Menz, M.H.M., Rackwitz, K., Shatwell, T., Terlau, J.F. and Hirt, M.R. Insect communities under skyglow: diffuse nighttime illuminance induces spatio-temporal shifts in movement and predation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1892), October 2023. ISSN 1471-2970. doi: 10.1098/rstb.2022.0359.
273. Anderson, S.J., Kubiszewski, I. and Sutton, P.C. The ecological economics of light pollution: Impacts on ecosystem service value. *Remote Sensing*, 16(14):2591, July 2024. ISSN 2072-4292. doi: 10.3390/rs16142591.
274. Grubisic, M., van Grunsven, R., Kyba, C., Manfrin, A. and Hölker, F. Insect declines and agroecosystems: does light pollution matter? *Annals of Applied Biology*, 173(2):180–189, jun 2018. doi: 10.1111/aab.12440.
275. Briolat, E.S., Gaston, K.J., Bennie, J., Rosenfeld, E.J. and Troschiano, J. Artificial nighttime lighting impacts visual ecology links between flowers, pollinators and predators. *Nature Communications*, 12(1), jul 2021. doi: 10.1038/s41467-021-24394-0.
276. Wilson, A.A., Seymoure, B.M., Jaeger, S., Milstead, B., Payne, H., Peria, L., Vosbigian, R.A. and Francis, C.D. Direct and ambient light pollution alters recruitment for a diurnal plant–pollinator system. *Integrative and Comparative Biology*, 61(3):1122–1133, mar 2021. doi: 10.1093/icb/icab010.
277. Shivanna, K.R. Impact of light pollution on nocturnal pollinators and their pollination services. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 88(4):626–633, nov 2022. doi: 10.1007/s43538-022-00134-w.
278. Jones, T.M. and McNamara, K.B. Harmonic radar suggests greater impact of light pollution for nocturnal insects. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(42), October 2024. ISSN 1091-6490. doi: 10.1073/pnas.2417219121.
279. Borges, R.M. Impacts of artificial light at night on nocturnal and diurnal insect biology and diversity. *Indian Journal of Entomology*, pages 483–492, mar 2022. doi: 10.55446/ije.2022.182.
280. Kurahara, Y. and Itsubo, N. Quantitative environmental impact assessment for agricultural products caused by exposure of artificial light at night. In *Towards a Sustainable Future - Life Cycle Management*, pages 27–38. Springer International Publishing, oct 2021. doi: 10.1007/978-3-030-77127-0_3.
281. Cordeiro, G.D., Loporini, R., Caetano, C.A., Krug, C., Martínez-Martínez, C.A., Martins, H.O.J., Cardoso, R.K.O.A., Araujo, F.F., Araújo, P.C.S., Oliveira, R., Schlindwein, C., Warant, E.J., Dötterl, S. and dos Santos, I.A. Nocturnal bees as crop pollinators. *Agronomy*, 11(5):1014, may 2021. doi: 10.3390/agronomy11051014.
282. Knop, E., Zoller, L., Ryser, R., Gerpe, C., Hörler, M. and Fontaine, C. Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature*, 548(7666):206–209, aug 2017. doi: 10.1038/nature23288.
283. Owens, A.C., Cochard, P., Durrant, J., Farnsworth, B., Perkin, E.K. and Seymoure, B. Light pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation*, 241:108259, jan 2020. doi: 10.1016/j.biocon.2019.108259.
284. Boyes, D.H., Evans, D.M., Fox, R., Parsons, M.S. and Pocock, M.J.O. Is light pollution driving moth population declines? a review of causal mechanisms across the life cycle. *Insect Conservation and Diversity*, sep 2020. doi: 10.1111/icad.12447.
285. Macgregor, C.J., Evans, D.M., Fox, R. and Pocock, M.J.O. The dark side of street lighting: impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport. *Global Change Biology*, 23(2):697–707, jul 2016. doi: 10.1111/gcb.13371.
286. Macgregor, C.J., Pocock, M.J.O., Fox, R. and Evans, D.M. Effects of street lighting technologies on the success and quality of pollination in a nocturnally pollinated plant. *Ecosphere*, 10(1), jan 2019. doi: 10.1002/ecs2.2550.
287. Boom, M.P., Spoelstra, K., Biere, A., Knop, E. and Visser, M.E. Pollination and fruit infestation under artificial light at night: light colour matters. *Scientific Reports*, 10(1), oct 2020. doi: 10.1038/s41598-020-75471-1.
288. Soteris, F., Camps, G.A., Costas, S.M., Giaquinta, A., Peralta, G. and Cocucci, A.A. Fragility of nocturnal interactions: Pollination intensity increases with distance to light pollution sources but decreases with increasing environmental suitability. *Environmental Pollution*, 292:118350, jan 2022. doi: 10.1016/j.envpol.2021.118350.
289. Akacem, L.D., Wright, K.P. and LeBourgeois, M.K. Bedtime and evening light exposure influence circadian timing in preschool-age children: A field study. *Neurobiology of Sleep and Circadian Rhythms*, 1(2):27–31, nov 2016. doi: 10.1016/j.nbscr.2016.11.002.
290. il Lee, S., Matsumori, K., Nishimura, K., Nishimura, Y., Ikeda, Y., Eto, T. and Higuchi, S. Melatonin suppression and sleepiness in children exposed to blue-enriched white LED lighting at night. *Physiological Reports*, 6(24), dec 2018. doi: 10.14814/phy2.13942.
291. Yang, H.Y., Wu, S.H., Zhang, S., Zou, H.X., Wang, L.B., Lin, L.Z., Gui, Z.H., Zeng, X.W., Yang, B.Y., Liu, R.Q., Dong, G.H. and Hu, L.W. Association between outdoor light at night exposure and executive function in chinese children. *Environmental Research*, 257: 119286, September 2024. ISSN 0013-9351. doi: 10.1016/j.envres.2024.119286.
292. Wilson, M. Artificial blue light and teenagers: Does artificial blue light exposure at night have negative health and wellbeing implications on teenagers? *Otago Polytechnic School of Nursing Online Journal*, 6, 2019.
293. Pakarinen, D., Rudolph, K.E., Stapp, E.K., Dunster, G.P., He, J., Mennitt, D., Hattar, S., Casey, J.A., James, P. and Merikangas, K.R. Association of outdoor artificial light at night with mental disorders and sleep patterns among US adolescents. *JAMA Psychiatry*, 77(12):1266, dec 2020. doi: 10.1001/jamapsychiatry.2020.1935.
294. Ricketts, E.J., Joyce, D.S., Rissman, A.J., Burgess, H.J., Colwell, C.S., Lack, L.C. and

- Gradisar, M. Electric lighting, adolescent sleep and circadian outcomes, and recommendations for improving light health. *Sleep Medicine Reviews*, 64:101667, aug 2022. doi: 10.1016/j.smrv.2022.101667.
295. Hatori, M., Gronfier, C., Gelder, R.N.V., Bernstein, P.S., Carreras, J., Panda, S., Marks, F., Sliney, D., Hunt, C.E., Hirota, T., Furukawa, T. and Tsubota, K. Global rise of potential health hazards caused by blue light-induced circadian disruption in modern aging societies. *npj Aging and Mechanisms of Disease*, 3(1), jun 2017. doi: 10.1038/s41514-017-0010-2.
 296. Shen, J. and Tower, J. Effects of light on aging and longevity. *Ageing Research Reviews*, 53:100913, aug 2019. doi: 10.1016/j.arr.2019.100913.
 297. Skwarlo-Sofita, K. *Achieving Healthy Aging in the Light-Polluted World*, pages 445–459. Springer International Publishing, 2023. ISBN 9783031224683. doi: 10.1007/978-3-031-22468-3_21.
 298. Wahl, S., Engelhardt, M., Schaupp, P., Lappe, C. and Ivanov, I.V. The inner clock—blue light sets the human rhythm. *Journal of Biophotonics*, 12(12), sep 2019. doi: 10.1002/jbio.201900102.
 299. Lu, J., Zou, R., Yang, Y., Bai, X., Wei, W., Ding, R. and Hua, X. Association between nocturnal light exposure and melatonin in humans: a meta-analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(3):3425–3434, December 2023. ISSN 1614-7499. doi: 10.1007/s11356-023-31502-8.
 300. Walmsley, L., Hanna, L., Moulard, J., Martial, F., West, A., Smedley, A.R., Bechtold, D.A., Webb, A.R., Lucas, R.J. and Brown, T.M. Colour as a signal for entraining the mammalian circadian clock. *PLOS Biology*, 13(4):e1002127, apr 2015. doi: 10.1371/journal.pbio.1002127.
 301. Xu, Y.X., Zhang, J.H., Tao, F.B. and Sun, Y. Association between exposure to light at night (lan) and sleep problems: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Science of The Total Environment*, 857:159303, January 2023. ISSN 0048-9697. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159303.
 302. Jerigova, V., Zeman, M. and Okuliarova, M. Circadian disruption and consequences on innate immunity and inflammatory response. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(22):13722, nov 2022. doi: 10.3390/ijms232213722.
 303. Jerigova, V., Zeman, M. and Okuliarova, M. Chronodisruption of the acute inflammatory response by night lighting in rats. *Scientific Reports*, 13(1), August 2023. ISSN 2045-2322. doi: 10.1038/s41598-023-41266-3.
 304. Neves, A.R., Albuquerque, T., Quintela, T. and Costa, D. Circadian rhythm and disease: Relationship, new insights, and future perspectives. *Journal of Cellular Physiology*, 237(8):3239–3256, jun 2022. doi: 10.1002/jcp.30815.
 305. Su, K., Din, Z.U., Cui, B., Peng, F., Zhou, Y., Wang, C., Zhang, X., Lu, J., Luo, H., He, B., Kelley, K.W. and Liu, Q. A broken circadian clock: The emerging neuro-immune link connecting depression to cancer. *Brain, Behavior, & Immunity - Health*, 26:100533, dec 2022. doi: 10.1016/j.bbih.2022.100533.
 306. Brown, T.M., Brainard, G.C., Cajochen, C., Czeisler, C.A., Hanifin, J.P., Lockley, S.W., Lucas, R.J., Münch, M., O'Hagan, J.B., Peirson, S.N., Price, L.L.A., Roenneberg, T., Schlagen, L.J.M., Skene, D.J., Spitschan, M., Vetter, C., Zee, P.C. and Wright, K.P. Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. *PLOS Biology*, 20(3):e3001571, mar 2022. doi: 10.1371/journal.pbio.3001571.
 307. Lewy, A., Wehr, T., Goodwin, F., Newsome, D. and Markey, S. Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science*, 210(4475):1267–1269, dec 1980. doi: 10.1126/science.7434030.
 308. Carrillo-Vico, A., Guerrero, J.M., Lardone, P.J. and Reiter, R.J. A review of the multiple actions of melatonin on the immune system. *Endocrine*, 27(2):189–200, 2005. doi: 10.1385/endo:27:2:189.
 309. Phillips, A.J.K., Vidafar, P., Burns, A.C., McGlashan, E.M., Anderson, C., Rajaratnam, S.M.W., Lockley, S.W. and Cain, S.W. High sensitivity and interindividual variability in the response of the human circadian system to evening light. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, page 201901824, may 2019. doi: 10.1073/pnas.1901824116.
 310. Grubisic, M., Haim, A., Bhusal, P., Dominoni, D.M., Gabriel, K.M.A., Jechow, A., Kupprat, F., Lerner, A., Marchant, P., Riley, W., Stebelova, K., van Grunsven, R.H.A., Zeman, M., Zubidat, A.E. and Höcker, F. Light pollution, circadian photoreception, and melatonin in vertebrates. *Sustainability*, 11(22):6400, nov 2019. doi: 10.3390/su11226400.
 311. Stebelova, K., Roska, J. and Zeman, M. Impact of dim light at night on urinary 6-sulphatoxymelatonin concentrations and sleep in healthy humans. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(20):7736, oct 2020. doi: 10.3390/ijms21207736.
 312. Gibbons, R.B., Bhagavathula, R., Warfield, B., Brainard, G.C. and Hanifin, J.P. Impact of solid state roadway lighting on melatonin in humans. *Clocks & Sleep*, 4(4):633–657, nov 2022. doi: 10.3390/clocksleep4040049.
 313. Bauducco, S., Pillion, M., Bartel, K., Reynolds, C., Kahn, M. and Gradisar, M. A bidirectional model of sleep and technology use: A theoretical review of how much, for whom, and which mechanisms. *Sleep Medicine Reviews*, 76:101933, August 2024. ISSN 1087-0792. doi: 10.1016/j.smrv.2024.101933.
 314. Brainard, G.C., Hanifin, J.P., Greeson, J.M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E. and Rollag, M.D. Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor. *The Journal of Neuroscience*, 21(16):6405–6412, aug 2001. doi: 10.1523/jneurosci.21-16-06405.2001.
 315. Lucas, R.J., Peirson, S.N., Berson, D.M., Brown, T.M., Cooper, H.M., Czeisler, C.A., Figueiro, M.G., Gamlin, P.D., Lockley, S.W., O'Hagan, J.B., Price, L.L., Provencio, I., Skene, D.J. and Brainard, G.C. Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in Neurosciences*, 37(1):1–9, jan 2014. doi: 10.1016/j.tins.2013.10.004.
 316. Berson, D.M., Dunn, F.A. and Takao, M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 295(5557):1070–1073, feb 2002. doi: 10.1126/science.1067262.
 317. Buijs, F.N., León-Mercado, L., Guzmán-Ruiz, M., Guerrero-Vargas, N.N., Romo-Nava, F. and Buijs, R.M. The circadian system: A regulatory feedback network of periphery and brain. *Physiology*, 31(3):170–181, may 2016. doi: 10.1152/physiol.00037.2015.
 318. Fleury, G., Masis-Vargas, A. and Kalsbeek, A. Metabolic implications of exposure to light at night: Lessons from animal and human studies. *Obesity*, 28(S1), jul 2020. doi: 10.1002/oby.22807.
 319. Nicholls, S. Evidence for internal desynchrony caused by circadian clock resetting. *Yale Journal of Biology and Medicine*, 92(2):259–270, 2019.
 320. Koronowski, K.B., Kinouchi, K., Welz, P.S., Smith, J.G., Zinna, V.M., Shi, J., Samad, M., Chen, S., Magnan, C.N., Kinchen, J.M., Li, W., Baldi, P., Benita, S.A. and Sassone-Corsi, P. Defining the independence of the liver circadian clock. *Cell*, 177(6):1448–1462.e14, may 2019. doi: 10.1016/j.cell.2019.04.025.
 321. Kim, D., Guak, S. and Lee, K. Temporal trend of microenvironmental time-activity patterns of the seoul population from 2004 to 2022 and its potential impact on exposure assessment. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 35(2):315–324, March 2024. ISSN 1559-064X. doi: 10.1038/s41370-024-00662-1.
 322. Haim, A. and Zubidat, A.E. Artificial light at night: melatonin as a mediator between the environment and epigenome. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1667):20140121, may 2015. doi: 10.1098/rstb.2014.0121.
 323. Yonis, M., Haim, A. and Zubidat, A.E. Altered metabolic and hormonal responses in male rats exposed to acute bright light-at-night associated with global DNA hypo-methylation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 194:107–118, may 2019. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2019.03.020.
 324. Joska, T., Zaman, R. and Belden, W. Regulated DNA methylation and the circadian clock: Implications in cancer. *Biology*, 3(3):560–577, sep 2014. doi: 10.3390/biology3030560.
 325. Agbaria, S., Haim, A., Fares, F. and Zubidat, A.E. Epigenetic modification in 4t1 mouse breast cancer model by artificial light at night and melatonin – the role of DNA-methyltransferase. *Chronobiology International*, 36(5):629–643, feb 2019. doi: 10.1080/07420528.2019.1574265.
 326. Zahra, H.S., Iqbal, A., Hassan, S.H., Shakir, H.A., Khan, M., Irfan, M., Ara, C. and Ali, S. Epigenetics: A bridge between artificial light at night and breast cancer. *Punjab University Journal of Zoology*, 34(2), 2019. doi: 10.17582/journal.pujz/2019.34.2.231.238.
 327. Ishihara, A., Courville, A.B. and Chen, K.Y. The complex effects of light on metabolism in humans. *Nutrients*, 15(6):1391, March 2023. ISSN 2072-6643. doi: 10.3390/nu15061391.
 328. Zhu, F., Zhang, W., Li, L., Wang, W., Liu, S., Zhao, Y., Ji, X., Yang, Y., Kang, Z., Guo, X. and Deng, F. Short-term exposure to indoor artificial light at night during sleep impairs cardiac autonomic function of young healthy adults in china. *Environmental Research*, 262:119786, December 2024. ISSN 0013-9351. doi: 10.1016/j.envres.2024.119786.
 329. Muscogiuri, G., Poggiogalle, E., Barrea, L., Tarsitano, M.G., Garifalos, F., Liccardi, A., Pugliese, G., Savastano, S., Colao, A., Colao, A., Aliviggi, C., Aprano, S., Barazzoni, R., Barrea, L., Beguinot, F., Belliøre, A., Bellastella, G., Bettini, S., Bifulco, G., Bifulco, M. et al. Exposure to artificial light at night: A common link for obesity and cancer? *European Journal of Cancer*, 173:263–275, sep 2022. doi: 10.1016/j.ejca.2022.06.007.
 330. Park, Y.M.M., White, A.J., Jackson, C.L., Weinberg, C.R. and Sandler, D.P. Association of exposure to artificial light at night while sleeping with risk of obesity in women. *JAMA Internal Medicine*, 179(8):1061, aug 2019. doi: 10.1001/jamainternmed.2019.0571.
 331. Lai, K.Y., Sarkar, C., Ni, M.Y., Gallacher, J. and Webster, C. Exposure to light at night (LAN) and risk of obesity: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Environmental Research*, 187:109637, aug 2020. doi: 10.1016/j.envres.2020.109637.
 332. Mao, B., Luo, C., Li, S., Zhang, J., Xiang, W. and Yang, Y.d. Exposure to light at night (lan) and risk of overweight/obesity, hypertension, and diabetes: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Health Research*, pages 1–15, July 2024. ISSN 1369-1619. doi: 10.1080/09603123.2024.2378941.
 333. Russart, K.L., Chbeir, S.A., Nelson, R.J. and Magalang, U.J. Light at night exacerbates metabolic dysfunction in a polygenic mouse model of type 2 diabetes mellitus. *Life Sciences*, 231:116574, aug 2019. doi: 10.1016/j.lfs.2019.116574.
 334. Baek, J.H., Zhu, Y., Jackson, C.L. and Mark Park, Y.M. Artificial light at night and type 2 diabetes mellitus. *Diabetes & Metabolism Journal*, 48(5):847–863, September 2024. ISSN 2233-6087. doi: 10.4093/dmj.2024.0237.
 335. Windred, D.P., Burns, A.C., Rutter, M.K., Ching Yeung, C.H., Lane, J.M., Xiao, Q., Saxena, R., Cain, S.W. and Phillips, A.J. Personal light exposure patterns and incidence of type 2 diabetes: analysis of 13 million hours of light sensor data and 670,000 person-years of prospective observation. *The Lancet Regional Health - Europe*, 42:100943, July 2024. ISSN 2666-7762. doi: 10.1016/j.lanepe.2024.100943.
 336. Hu, X., Ou, Y., Zhou, Y., Dong, G. and Dong, H. Outdoor artificial light at night and cardiovascular disease in adults: a chinese nationwide cohort study. *European Heart Journal*, 44(Supplement 2), November 2023. ISSN 1522-9645. doi: 10.1093/eurheartj/ehad655.3005.
 337. Hu, X., Wang, L.B., Jalaludin, B., Knibbs, L.D., Yim, S.H.L., Lao, X.Q., Morawska, L., Nie, Z., Zhou, Y., Hu, L.W., Huang, W.Z., Yu, Y., Dong, G.H. and Dong, H. Outdoor artificial light at night and incident cardiovascular disease in adults: A national cohort study across china. *Science of The Total Environment*, 918:170685, March 2024. ISSN 0048-9697. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.170685.
 338. Kim, S.H., Kim, Y.K., Shin, Y.I., Kang, G., Kim, S.P., Lee, H., Hong, I.H., Chang, I.B., Hong, S.B., Yoon, H.J. and Ha, A. Nighttime outdoor artificial light and risk of age-related macular degeneration. *JAMA Network Open*, 7(1):e2351650, January 2024. ISSN 2574-3805. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2023.51650.
 339. Salceda, R. Light pollution and oxidative stress: Effects on retina and human health. *Antioxidants*, 13(3):362, March 2024. ISSN 2076-3921. doi: 10.3390/antiox13030362.
 340. Adeniyi, M.J., Awosika, A., Idaguko, C.A. and Ekhoje, E. The influence of artificial light

- exposure on indigenous populations: Exploring its impact on menarcheal age and reproductive function. *Journal of Reproduction & Infertility*, November 2024. ISSN 2228-5482. doi: 10.18502/jri.v25i3.17011.
341. Liu, P.Y. Light pollution: time to consider testicular effects. *Frontiers in Toxicology*, 6, September 2024. ISSN 2673-3080. doi: 10.3389/ftox.2024.1481385.
342. Tian, R., Yang, T., Xiao, C., Li, F., Fu, L., Zhang, L., Cai, J., Zeng, S., Liao, J., Song, G., Yu, C., Zhang, B. and Liu, Z. Outdoor artificial light at night and male sperm quality: A retrospective cohort study in china. *Environmental Pollution*, 341:122927, January 2024. ISSN 0269-7491. doi: 10.1016/j.envpol.2023.122927.
343. Grunst, M.L. and Grunst, A.S. Endocrine effects of exposure to artificial light at night: A review and synthesis of knowledge gaps. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 568-569: 111927, June 2023. ISSN 0303-7207. doi: 10.1016/j.mce.2023.111927.
344. Deprato, A., Maidstone, R., Cros, A.P., Adan, A., Haldar, P., Harding, B.N., Lacy, P., Melenka, L., Moitra, S., Navarro, J.F., Kogevinas, M., Durrington, H.J. and Moitra, S. Influence of light at night on allergic diseases: a systematic review and meta-analysis. *BMC Medicine*, 22(1), February 2024. ISSN 1741-7015. doi: 10.1186/s12916-024-03291-5.
345. Zubdat, A.E. and Haim, A. Artificial light-at-night – a novel lifestyle risk factor for metabolic disorder and cancer morbidity. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 28(4), jan 2017. doi: 10.1515/jbcp-2016-0116.
346. Erren, T.C. and Lewis, P. Hypothesis: ubiquitous circadian disruption can cause cancer. *European Journal of Epidemiology*, 34(1):1–4, dec 2018. doi: 10.1007/s10654-018-0469-6.
347. Walker, W.H., Bumgarner, J.R., Walton, J.C., Liu, J.A., Meléndez-Fernández, O.H., Nelson, R.J. and DeVries, A.C. Light pollution and cancer. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(24):9360, dec 2020. doi: 10.3390/ijms21249360.
348. Palomar-Cros, A., Deprato, A., Papantoniou, K., Straif, K., Lacy, P., Maidstone, R., Adan, A., Haldar, P., Moitra, S., Navarro, J.F., Durrington, H., Moitra, S., Kogevinas, M. and Harding, B.N. Indoor and outdoor artificial light-at-night (alan) and cancer risk: A systematic review and meta-analysis of multiple cancer sites and with a critical appraisal of exposure assessment. *Science of The Total Environment*, 955:177059, December 2024. ISSN 0048-9697. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.177059.
349. Dickerman, B. and Liu, J. Does current scientific evidence support a link between light at night and breast cancer among female night-shift nurses?: Review of evidence and implications for occupational and environmental health nurses. *Workplace Health & Safety*, 60(6):273–290, jun 2012. doi: 10.3928/21650799-20120529-06.
350. He, C., Anand, S.T., Ebell, M.H., Vena, J.E. and Robb, S.W. Circadian disrupting exposures and breast cancer risk: a meta-analysis. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 88(5):533–547, sep 2014. doi: 10.1007/s00420-014-0986-x.
351. Hansen, J. and Pedersen, J.E. Night shift work and breast cancer risk – 2023 update of epidemiologic evidence. *Journal of the National Cancer Center*, 5(1):94–103, February 2025. ISSN 2667-0054. doi: 10.1016/j.jncc.2024.07.004.
352. Wang, R., Wang, Q., Li, J., Zhang, J., Lyu, S., Chi, W., Ye, Z., Lu, X., Shi, Y., Wang, Y., Wu, X., Hu, R., Pérez-Ríos, M., He, J. and Liang, W. Light at night and lung cancer risk: A worldwide interdisciplinary and time-series study. *Chinese Medical Journal Pulmonary and Critical Care Medicine*, 2(1):56–62, March 2024. ISSN 2772-5588. doi: 10.1016/j.pccm.2024.02.004.
353. Tselebis, A., Koukkou, E., Milonis, C., Zabulienė, L., Pachi, A. and Ilias, I. Artificial night light and thyroid cancer. *World Journal of Methodology*, 14(1), March 2024. ISSN 2222-0682. doi: 10.5662/wjm.v14.i1.89853.
354. Rybníková, N.A., Haim, A. and Portnov, B.A. Is prostate cancer incidence worldwide linked to artificial light at night exposures? review of earlier findings and analysis of current trends. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 72(2):111–122, jun 2016. doi: 10.1080/19338244.2016.1169980.
355. Kim, K.Y., Lee, E., Kim, Y.J. and Kim, J. The association between artificial light at night and prostate cancer in gwangju city and south jeolla province of south korea. *Chronobiology International*, 34(2):203–211, dec 2016. doi: 10.1080/07420528.2016.1259241.
356. Chowdhury-Paulino, I.M., Hart, J.E., James, P., Iyer, H.S., Wilt, G.E., Booker, B.D., Netherery, R.C., Laden, F., Mucci, L.A. and Markt, S.C. Association between outdoor light at night and prostate cancer in the health professionals follow-up study. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 32(10):1444–1450, July 2023. ISSN 1538-7755. doi: 10.1158/1055-9965.epi-23-0208.
357. Areshidze, D.A., Kozlova, M.A., Mnikhovich, M.V., Bezuglova, T.V., Chernikov, V.P., Gioeva, Z.V. and Borisov, A.V. Influence of various light regimes on morphofunctional condition of transplantable melanoma b16. *Biomedicines*, 11(4):1135, April 2023. ISSN 2227-9059. doi: 10.3390/biomedicines11041135.
358. Anbalagan, M., Dauchy, R., Xiang, S., Robling, A., Blask, D., Rowan, B. and Hill, S. SAT-337 disruption of the circadian melatonin signal by dim light at night promotes bone-lytic breast cancer metastases. *Journal of the Endocrine Society*, 3(Supplement 1), apr 2019. doi: 10.1210/ps.2019-sat-337.
359. Xiang, S., Dauchy, R.T., Hoffman, A.E., Pointer, D., Frasc, T., Blask, D.E. and Hill, S.M. Epigenetic inhibition of the tumor suppressor ARH1 by light at night-induced circadian melatonin disruption mediates STAT3-driven paclitaxel resistance in breast cancer. *Journal of Pineal Research*, 67(2), jun 2019. doi: 10.1111/jpi.12586.
360. Lee, H.S., Lee, E., Moon, J.H., Kim, Y. and Lee, H.J. Circadian disruption and increase of oxidative stress in male and female volunteers after bright light exposure before bed time. *Molecular & Cellular Toxicology*, 15(2):221–229, mar 2019. doi: 10.1007/s13273-019-0025-9.
361. Wu, Y., Shen, P., Yang, Z., Yu, L., Xu, L., Zhu, Z., Li, T., Luo, D., Lin, H., Shui, L., Tang, M., Jin, M., Chen, K. and Wang, J. Outdoor light at night, air pollution, and risk of cerebrovascular disease: A cohort study in china. *Stroke*, 55(4):990–998, April 2024. ISSN 1524-4628. doi: 10.1161/strokeaha.123.044904.
362. James, P., Bertrand, K.A., Hart, J.E., Schernhammer, E.S., Tamimi, R.M. and Laden, F. Outdoor light at night and breast cancer incidence in the nurses' health study II. *Environmental Health Perspectives*, 125(8):087010, aug 2017. doi: 10.1289/ehp935.
363. García-Saenz, A., de Miguel, A.S., Espinosa, A., Valentin, A., Aragonés, N., Llorca, J., Amiano, S., Sánchez, V.M., Guevara, M., Capelo, R., Tardón, A., Peiró-Pérez, R., Jiménez-Moleón, J.J., Roca-Barceló, A., Pérez-Gómez, B., Dierssen-Sotos, T., Fernández-Villa, T., Moreno-Iribas, C., Moreno, V., García-Pérez, J. et al. Evaluating the association between artificial light-at-night exposure and breast and prostate cancer risk in Spain (MCC-Spain study). *Environmental Health Perspectives*, 126(4):047011, apr 2018. doi: 10.1289/ehp1837.
364. Harding, B.N., Palomar-Cros, A., Valentin, A., Espinosa, A., Sánchez de Miguel, A., Castaño-Vinyals, G., Pollán, M., Pérez, B., Moreno, V. and Kogevinas, M. Comparing data from three satellites on artificial light at night (alan): Focusing on blue light's influence on colorectal cancer in a case-control study in Spain. *Environmental Health Perspectives*, 132(5), May 2024. ISSN 1552-9924. doi: 10.1289/ehp14414.
365. Zheng, R., Xin, Z., Li, M., Wang, T., Xu, M., Lu, J., Dai, M., Zhang, D., Chen, Y., Wang, S., Lin, H., Wang, W., Ning, G., Bi, Y., Zhao, Z. and Xu, Y. Outdoor light at night in relation to glucose homeostasis and diabetes in Chinese adults: a national and cross-sectional study of 98,658 participants from 162 study sites. *Diabetologia*, 66(2):336–345, nov 2022. doi: 10.1007/s00125-022-05819-x.
366. McIsaac, M.A., Sanders, E., Kuester, T., Aronson, K.J. and Kyba, C.C.M. The impact of image resolution on power, bias, and confounding. *Environmental Epidemiology*, 5(2): e145, apr 2021. doi: 10.1097/ee9.0000000000000145.
367. Sweeney, M.R., Nichols, H.B., Jones, R.R., Olshan, A.F., Keil, A.P., Engel, L.S., James, P., Jackson, C.L., Sandler, D.P. and White, A.J. Light at night and the risk of breast cancer: Findings from the sister study. *Environment International*, 169:107495, nov 2022. doi: 10.1016/j.envint.2022.107495.
368. Medgyesi, D.N., Trabert, B., Fisher, J.A., Xiao, Q., James, P., White, A.J., Madrigal, J.M. and Jones, R.R. Outdoor light at night and risk of endometrial cancer in the NIH-AARP diet and health study. *Cancer Causes & Control*, 34(2):181–187, oct 2022. doi: 10.1007/s10552-022-01632-4.
369. Park, Y., Ramirez, Y., Xiao, Q., Liao, L.M., Jones, G.S. and McGlynn, K.A. Outdoor light at night and risk of liver cancer in the NIH-AARP diet and health study. *Cancer Causes & Control*, 33(9):1215–1218, jul 2022. doi: 10.1007/s10552-022-01602-w.
370. Božejko, M., Tarski, I. and Malodobra-Mazur, M. Outdoor artificial light at night and human health: A review of epidemiological studies. *Environmental Research*, 218:115049, feb 2023. doi: 10.1016/j.envres.2022.115049.
371. Prayag, A., Münch, M., Aeschbach, D., Chellappa, S. and Gronfier, C. Light modulation of human clocks, wake, and sleep. *Clocks & Sleep*, 1(1):193–208, mar 2019. doi: 10.3390/clocks1010017.
372. Dautovich, N.D., Schreiber, D.R., Imel, J.L., Tighe, C.A., Shoji, K.D., Cyrus, J., Bryant, N., Lisech, A., O'Brien, C. and Dzierzewski, J.M. A systematic review of the amount and timing of light in association with objective and subjective sleep outcomes in community-dwelling adults. *Sleep Health*, 5(1):31–48, feb 2019. doi: 10.1016/j.sleh.2018.09.006.
373. Dumont, M., Lanctôt, V., Cadieux-Viau, R. and Paquet, J. Melatonin production and light exposure of rotating night workers. *Chronobiology International*, 29(2):203–210, feb 2012. doi: 10.3109/07420528.2011.647177.
374. Böhmer, M.N., Hamers, P.C., Bindels, P.J., Oppewal, A., van Someren, E.J. and Festen, D.A. Are we still in the dark? a systematic review on personal daily light exposure, sleep-wake rhythm, and mood in healthy adults from the general population. *Sleep Health*, 7(5): 610–630, oct 2021. doi: 10.1016/j.sleh.2021.06.001.
375. Léger, D. and Bayon, V. Societal costs of insomnia. *Sleep Medicine Reviews*, 14(6): 379–389, dec 2010. doi: 10.1016/j.smrv.2010.01.003.
376. Wade, A. The societal costs of insomnia. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, page 1, dec 2010. doi: 10.2147/ndt.s15123.
377. Eastman, C. and Smith. Shift work: health, performance and safety problems, traditional countermeasures, and innovative management strategies to reduce circadian misalignment. *Nature and Science of Sleep*, page 111, sep 2012. doi: 10.2147/nss.s10372.
378. Figueiro, M.G., Sahin, L., Wood, B. and Plitnick, B. Light at night and measures of alertness and performance. *Biological Research For Nursing*, 18(1):90–100, feb 2015. doi: 10.1177/1099800415572873.
379. Berkalieva, A., Plitnick, B., Mazumdar, M. and Figueiro, M. Light at night, melatonin levels and nurses working at night. *Lighting Research & Technology*, 57(1):71–81, August 2024. ISSN 1477-0938. doi: 10.1177/14771535241269792.
380. Windred, D.P., Burns, A.C., Lane, J.M., Olivier, P., Rutter, M.K., Saxena, R., Phillips, A.J.K. and Cain, S.W. Brighter nights and darker days predict higher mortality risk: A prospective analysis of personal light exposure in >88,000 individuals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(43), October 2024. ISSN 1091-6490. doi: 10.1073/pnas.2405924121.
381. Fonken, L.K., Bedrosian, T.A., Zhang, N., Weil, Z.M., DeVries, A.C. and Nelson, R.J. Dim light at night impairs recovery from global cerebral ischemia. *Experimental Neurology*, 317:100–109, jul 2019. doi: 10.1016/j.expneurol.2019.02.008.
382. Weil, Z.M., Fonken, L.K., Walker, W.H., Bumgarner, J.R., Liu, J.A., Meléndez-Fernández, O.H., Zhang, N., DeVries, A.C. and Nelson, R.J. Dim light at night exacerbates stroke outcome. *European Journal of Neuroscience*, 52(9):4139–4146, aug 2020. doi: 10.1111/ejn.14915.
383. Obayashi, K., Yamagami, Y., Tatsumi, S., Kurumatsani, N. and Saeki, K. Indoor light pollution and progression of carotid atherosclerosis: A longitudinal study of the HEIJO-KYO cohort. *Environment International*, 133:105184, dec 2019. doi: 10.1016/j.envint.2019.105184.
384. Walker, W.H., Meléndez-Fernández, O.H. and Nelson, R.J. Prior exposure to dim light at night impairs dermal wound healing in female c57bl/6 mice. *Archives of Dermatological Research*, 311(7):573–576, may 2019. doi: 10.1007/s00403-019-01935-8.

385. Mindel, J.W., Rojas, S.L., Kline, D., Bao, S., Rezai, A., Corrigan, J.D., Nelson, R.J., D. P. and Magalang, U.J. Sleeping with low levels of artificial light at night increases systemic inflammation in humans. *Sleep*, 42(Supplement 1):A15–A16, apr 2019. doi: 10.1093/sleep/zsz067.037.
386. Xu, Y.x., Shen, Y.t., Li, J., Ding, W.q., Wan, Y.h., Su, P.y., Tao, F.b. and Sun, Y. Real-ambient bedroom light at night increases systemic inflammation and disrupts circadian rhythm of inflammatory markers. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 281:116590, August 2024. ISSN 0147-6513. doi: 10.1016/j.ecoenv.2024.116590.
387. Simons, K., van den Boogaard, M. and de Jager, C. Impact of intensive care unit light and noise exposure on critically ill patients. *Netherlands Journal of Critical Care*, 27(4), 2019.
388. da Silva Higa, K.T., Böhme, F.A.F., Paschoa, S., Conte, A.C.R., Santos, V.B. and Avelar, A.F.M. Dark nighttime interventions and sleep quality in intensive care unit patients: A systematic review and meta-analysis. *Nursing in Critical Care*, aug 2022. doi: 10.1111/nicc.12827.
389. Odebrecht Vergne de Abreu, A.C., Alves Braga de Oliveira, M., Alquati, T., Tonon, A.C., de Novaes Reis, M., Camargo Rossi, A., Sbaraini Bonatto, F. and Paz Hidalgo, M. Use of light protection equipment at night reduces time until discharge from the neonatal intensive care unit: A randomized interventional study. *Journal of Biological Rhythms*, 39(1):68–78, October 2023. ISSN 1552-4531. doi: 10.1177/07487304231201752.
390. Hosseini, S.N., Walton, J.C., SheikhAnsari, I., Kreidler, N. and Nelson, R.J. An architectural solution to a biological problem: A systematic review of lighting designs in healthcare environments. *Applied Sciences*, 14(7):2945, March 2024. ISSN 2076-3417. doi: 10.3390/app14072945.
391. Kernbach, M.E., Martin, L.B., Unnasch, T.R., Hall, R.J., Jiang, R.H.Y. and Francis, C.D. Light pollution affects west Nile virus exposure risk across florida. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 288(1947), mar 2021. doi: 10.1098/rspb.2021.0253.
392. Coetzee, B.W.T., Burke, A.M., Koekemoer, L.L., Robertson, M.P. and Smit, I.P.J. Scaling artificial light at night and disease vector interactions into socio-ecological systems: a conceptual appraisal. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1892), October 2023. ISSN 1471-2970. doi: 10.1098/rstb.2022.0371.
393. Khan, Z.A., Yumnamcha, T., Mondal, G., Devi, S.D., Rajiv, C., Labala, R.K., Devi, H.S. and Chattoraj, A. Artificial light at night (ALAN): A potential anthropogenic component for the COVID-19 and HCoV outbreak. *Frontiers in Endocrinology*, 11, sep 2020. doi: 10.3389/fendo.2020.00622.
394. He, S., Shao, W. and Han, J. Have artificial lighting and noise pollution caused zoonosis and the COVID-19 pandemic? a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(6):4021–4030, jul 2021. doi: 10.1007/s10311-021-01291-y.
395. Stock, D. and Schernhammer, E. Does night work affect age at which menopause occurs? *Current Opinion in Endocrinology & Diabetes and Obesity*, 26(6):306–312, dec 2019. doi: 10.1097/med.0000000000000509.
396. young Min, J. and bok Min, K. Outdoor light at night and the prevalence of depressive symptoms and suicidal behaviors: A cross-sectional study in a nationally representative sample of korean adults. *Journal of Affective Disorders*, 227:199–205, feb 2018. doi: 10.1016/j.jad.2017.10.039.
397. Walker, W.H., Borniger, J.C., Gaudier-Diaz, M.M., Meléndez-Fernández, O.H., Pascoe, J.L., DeVries, A.C. and Nelson, R.J. Acute exposure to low-level light at night is sufficient to induce neurological changes and depressive-like behavior. *Molecular Psychiatry*, 25(5): 1080–1093, may 2019. doi: 10.1038/s41380-019-0430-4.
398. Esaki, Y., Obayashi, K., Saeki, K., Fujita, K., Iwata, N. and Kitajima, T. Effect of evening light exposure on sleep in bipolar disorder: A longitudinal analysis for repeated measures in the APPLE cohort. *Australian & New Zealand Journal of Psychiatry*, 55(3):305–313, oct 2020. doi: 10.1177/0004867420968886.
399. Tancredi, S., Urbano, T., Vinceti, M. and Filippini, T. Artificial light at night and risk of mental disorders: A systematic review. *Science of The Total Environment*, 833:155185, aug 2022. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155185.
400. Chen, M., Zhao, Y., Lu, Q., Ye, Z., Bai, A., Xie, Z., Zhang, D. and Jiang, Y. Artificial light at night and risk of depression: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 29(0):73–73, 2024. ISSN 1347-4715. doi: 10.1265/ehpm.24-00257.
401. Menculini, G., Cirimbilli, F., Raspa, V., Scopetta, F., Cinesi, G., Chieppa, A.G., Cuzzucoli, L., Moretti, P., Balducci, P.M., Attademo, L., Bernardini, F., Erfurth, A., Sachs, G. and Tortorella, A. Insights into the effect of light pollution on mental health: Focus on affective disorders—a narrative review. *Brain Sciences*, 14(8):802, August 2024. ISSN 2076-3425. doi: 10.3390/brainsci14080802.
402. Fasciani, I., Petragliano, F., Aloisi, G., Marampon, F., Rossi, M., Coppolino, M.F., Rossi, R., Longoni, B., Scarselli, M. and Maggio, R. A new threat to dopamine neurons: The downside of artificial light. *Neuroscience*, 432:216–228, apr 2020. doi: 10.1016/j.neuroscience.2020.02.047.
403. Sharma, A. and Goyal, R. Long-term exposure to constant light induces dementia, oxidative stress and promotes aggregation of sub-pathological a β 42 in wistar rats. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 192:172892, may 2020. doi: 10.1016/j.pbb.2020.172892.
404. Mazzoleni, E., Vinceti, M., Costanzini, S., Garuti, C., Adani, G., Vinceti, G., Zamboni, G., Tondelli, M., Galli, C., Salemm, S., Teggi, S., Chiari, A. and Filippini, T. Outdoor artificial light at night and risk of early-onset dementia: A case-control study in the moderna population, northern Italy. *Heliyon*, 9(7):e17837, July 2023. ISSN 2405-8440. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e17837.
405. Filippini, T., Costanzini, S., Chiari, A., Urbano, T., Despini, F., Tondelli, M., Bedin, R., Zamboni, G., Teggi, S. and Vinceti, M. Outdoor artificial light at night and risk of conversion from mild cognitive impairment to dementia. *European Journal of Public Health*, 34(Supplement 3), October 2024. ISSN 1464-360X. doi: 10.1093/eurpub/ckae144.1419.
406. Karska, J., Kowalski, S., Gadka, A., Brzecka, A., Sochocka, M., Kurpas, D., BeszÁej, J.A. and Leszek, J. Artificial light and neurodegeneration: does light pollution impact the development of alzheimer's disease? *GeroScience*, 46(1):87–97, September 2023. ISSN 2509-2723. doi: 10.1007/s11357-023-00932-0.
407. Gorbachevskii, A., Kicherova, O. and Reikher, L. The role of astrocytes, circadian rhythms and light pollution in the pathogenesis of alzheimer's disease. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*, 124(6):20, 2024. ISSN 1997-7298. doi: 10.17116/jnevro202412406120.
408. Xie, Y., Jin, Z., Huang, H., Li, S., Dong, G., Liu, Y., Chen, G. and Guo, Y. Outdoor light at night and autism spectrum disorder in shanghai, china: A matched case-control study. *Science of The Total Environment*, 811:152340, mar 2022. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.152340.
409. Mishra, A., Lin, H., Singla, R., Le, N., Oraebosi, M., Liu, D. and Cao, R. Circadian desynchrony in early life leads to enduring autistic-like behavioral changes in adulthood. *Communications Biology*, 7(1), November 2024. ISSN 2399-3642. doi: 10.1038/s42003-024-07131-3.
410. Haraguchi, S., Kamata, M., Tokita, T., ichiro Tashiro, K., Sato, M., Nozaki, M., Okamoto-Katsuyama, M., Shimizu, I., Han, G., Chowdhury, V.S., Lei, X.F., Miyazaki, T., ri Kim-Kaneyama, J., Nakamachi, T., Matsuda, K., Ohtaki, H., Tokumoto, T., Tachibana, T., Miyazaki, A. and Tsutsui, K. Light-at-night exposure affects brain development through pineal allopregnanolone-dependent mechanisms. *eLife*, 8, sep 2019. doi: 10.7554/elife.45306.
411. Li, Y., Cheng, S., Li, L., Zhao, Y., Shen, W. and Sun, X. Light-exposure at night impairs mouse ovary development via cell apoptosis and DNA damage. *Bioscience Reports*, 39(5), may 2019. doi: 10.1042/bsr20181464.
412. Nagai, N., Ayaki, M., Yanagawa, T., Hattori, A., Negishi, K., Mori, T., Nakamura, T.J. and Tsubota, K. Suppression of blue light at night ameliorates metabolic abnormalities by controlling circadian rhythms. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 60(12):3786, sep 2019. doi: 10.1167/iov.19-27195.
413. Klepeis, N.E., Nelson, W.C., Ott, W.R., Robinson, J.P., Tsang, A.M., Switzer, P., Behar, J.V., Hern, S.C. and Engelmann, W.H. The national human activity pattern survey (nhaps): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 11(3):231–252, July 2001. ISSN 1559-064X. doi: 10.1038/sj.jea.7500165.
414. Matz, C., Stieb, D., Davis, K., Egyed, M., Rose, A., Chou, B. and Brion, O. Effects of age, season, gender and urban-rural status on time-activity: Canadian human activity pattern survey 2 (chaps 2). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(2):2108–2124, February 2014. ISSN 1660-4601. doi: 10.3390/ijerph110202108.
415. Wanvik, P.O. Effects of road lighting: An analysis based on dutch accident statistics 1987–2006. *Accident Analysis & Prevention*, 41(1):123–128, jan 2009. doi: 10.1016/j.aap.2008.10.003.
416. Bullough, J.D., Donnell, E.T. and Rea, M.S. To illuminate or not to illuminate: Roadway lighting as it affects traffic safety at intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 53: 65–77, apr 2013. doi: 10.1016/j.aap.2012.12.029.
417. Bhagavathula, R., Gibbons, R. and Kassing, A. Roadway lighting's effect on pedestrian safety at intersection and midblock crosswalks. Technical report, Illinois Center for Transportation, aug 2021.
418. Sullivan, J.M. and Flannagan, M.J. The role of ambient light level in fatal crashes: inferences from daylight saving time transitions. *Accident Analysis & Prevention*, 34(4): 487–498, jul 2002. doi: 10.1016/s0001-4575(01)00046-x.
419. Marchant, P.R. and Norman, P.D. To determine if changing to white light street lamps improves road safety: A multilevel longitudinal analysis of road traffic collisions during the relighting of Leeds, a UK city. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 15(4):1583–1608, jul 2022. doi: 10.1007/s12061-022-09468-w.
420. Warvik, P.O. Effects of road lighting on motorways. *Traffic Injury Prevention*, 10(3):279–289, jun 2009. doi: 10.1080/15389580902826866.
421. Jägerbrand, A.K. and Sjöbergh, J. Effects of weather conditions, light conditions, and road lighting on vehicle speed. *SpringerPlus*, 5(1), apr 2016. doi: 10.1186/s40064-016-2124-6.
422. Steinbach, R., Perkins, C., Tompson, L., Johnson, S., Armstrong, B., Green, J., Grundy, C., Wilkinson, P. and Edwards, P. The effect of reduced street lighting on road casualties and crime in England and Wales: controlled interrupted time series analysis. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 69(11):1118–1124, jul 2015. doi: 10.1136/jech-2015-206012.
423. Marchant, P. Bad science: Comments on the paper 'quantifying the impact of road lighting on road safety – a new Zealand study' by Jaccart & Frith (2013). *Radican Statistics*, 131: 1–19, 2022.
424. Marchant, P. Why lighting claims might well be wrong. *International Journal of Sustainable Lighting*, 19(1):69–74, jun 2017. doi: 10.26607/ijsl.v19i1.71.
425. Marchant, P. Do brighter, whiter street lights improve road safety? *Significance*, 16(5):8–9, oct 2019. doi: 10.1111/j.1740-9713.2019.01313.x.
426. Jaccart, M. and Frith, W. Quantifying the impact of road lighting on road safety — a new Zealand study. *IATSS Research*, 36(2):139–145, mar 2013. doi: 10.1016/j.iatssr.2012.09.001.
427. Fotios, S. and Gibbons, R. Road lighting research for drivers and pedestrians: The basis of luminance and illuminance recommendations. *Lighting Research & Technology*, 50(1): 154–186, jan 2018. doi: 10.1177/1477153517739055.
428. Lyytimäki, J., Tapio, P. and Assmuth, T. Unawareness in environmental protection: The case of light pollution from traffic. *Land Use Policy*, 29(3):598–604, jul 2012. doi: 10.1016/j.landusepol.2011.10.002.
429. Gaston, K.J. and Holt, L.A. Nature, extent and ecological implications of night-time light from road vehicles. *Journal of Applied Ecology*, 55(5):2296–2307, apr 2018. doi: 10.1111/1365-2664.13157.

430. Stone, T., de Sio, F.S. and Vermaas, P.E. Driving in the dark: Designing autonomous vehicles for reducing light pollution. *Science and Engineering Ethics*, 26(1):387–403, mar 2019. doi: 10.1007/s11948-019-00101-7.
431. Welsh, B.C., Farrington, D.P. and Douglas, S. The impact and policy relevance of street lighting for crime prevention: A systematic review based on a half-century of evaluation research. *Criminology & Public Policy*, 21(3):739–765, apr 2022. doi: 10.1111/1745-9133.12585.
432. Gupta, P., Kolhe, N.P. and Vyas, S. Coupling and coordination association between night light intensity and women safety – a comparative assessment of indian metropolitan cities. *Journal of Cleaner Production*, 481:144135, November 2024. ISSN 0959-6526. doi: 10.1016/j.jclepro.2024.144135.
433. Morrow, N. and Hutton, S. The chicago alley lighting project: Final evaluation report. Technical report, Illinois Criminal Justice Information Authority, 2000.
434. Lee, J., Leitner, M. and Paulus, G. Spatiotemporal analysis of nighttime crimes in vienna, austria. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(7):247, July 2024. ISSN 2220-9964. doi: 10.3390/ijgi13070247.
435. Marchant, P.R. A demonstration that the claim that brighter lighting reduces crime is unfounded. *British Journal of Criminology*, 44(3):441–447, apr 2004. doi: 10.1093/bjc/azh009.
436. Marchant, P. Have new street lighting schemes reduced crime in london? *Radical Statistics*, 104(39–48), 2011.
437. Tompson, L., Steinbach, R., Johnson, S.D., Teh, C.S., Perkins, C., Edwards, P. and Armstrong, B. Absence of street lighting may prevent vehicle crime, but spatial and temporal displacement remains a concern. *Journal of Quantitative Criminology*, mar 2022. doi: 10.1007/s10940-022-09539-8.
438. Svecchikina, A., Trop, T. and Portnov, B.A. How much lighting is required to feel safe when walking through the streets at night? *Sustainability*, 12(8):3133, apr 2020. doi: 10.3390/su12083133.
439. Son, D., Hyeon, T., Park, Y. and Kim, S.N. Analysis of the relationship between nighttime illuminance and fear of crime using a quasi-controlled experiment with recorded virtual reality. *Cities*, 134:104184, March 2023. ISSN 0264-2751. doi: 10.1016/j.cities.2022.104184.
440. McGlashan, E.M., Poudel, G.R., Jamadar, S.D., Phillips, A.J.K. and Cain, S.W. Afraid of the dark: Light acutely suppresses activity in the human amygdala. *PLOS ONE*, 16(6):e0252350, jun 2021. doi: 10.1371/journal.pone.0252350.
441. Marchant, P., Hale, J.D. and Sadler, J.P. Does changing to brighter road lighting improve road safety? multilevel longitudinal analysis of road traffic collision frequency during the re-lighting of a UK city. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 74(5):467–472, mar 2020. doi: 10.1136/jech-2019-212208.
442. Saad, R., Portnov, B.A. and Trop, T. Saving energy while maintaining the feeling of safety associated with urban street lighting. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(1):251–269, nov 2020. doi: 10.1007/s10098-020-01974-0.
443. Singh, R. Pedestrian post-twilight illuminance levels for security, visual comfort, and related parameters: the case of public parks in new delhi. *Cities & Health*, 8(1):14–20, July 2023. ISSN 2374-8842. doi: 10.1080/23748834.2023.2231591.
444. Son, D., Im, B., Her, J., Park, W., Kang, S.J. and Kim, S.N. Street lighting environment and fear of crime: a simulated virtual reality experiment. *Virtual Reality*, 29(1), December 2024. ISSN 1434-9957. doi: 10.1007/s10055-024-01080-2.
445. Davoudian, N., Raynham, P. and Barrett, E. Disability glare: A study in simulated road lighting conditions. *Lighting Research & Technology*, 46(6):695–705, nov 2013. doi: 10.1177/1477153513510168.
446. Yang, Y., Luo, M.R. and Ma, S. Assessing glare. part 2: Modifying unified glare rating for uniform and non-uniform LED luminaires. *Lighting Research & Technology*, 49(6):727–742, apr 2016. doi: 10.1177/1477153516642622.
447. Bullough, J. Spectral sensitivity for extrafoveal discomfort glare. *Journal of Modern Optics*, 56(13):1518–1522, jul 2009. doi: 10.1080/09500340903045710.
448. Skinner, N. and Bullough, J. Influence of LED spectral characteristics on glare recovery. In *SAE Technical Paper Series*. SAE International, apr 2019. doi: 10.4271/2019-01-0845.
449. Sweater-Hickcox, K., Narendran, N., Bullough, J. and Freyssonier, J. Effect of different coloured luminous surrounds on LED discomfort glare perception. *Lighting Research & Technology*, 45(4):464–475, feb 2013. doi: 10.1177/1477153512474450.
450. IEA. Light's labour's lost: Policies for energy-efficient lighting. Technical report, International Energy Agency, Paris, 2006.
451. IEA. World energy outlook. Technical report, International Energy Agency, Paris, 2006.
452. Brown, R. *World On the Edge: How to Prevent Environmental and Economic Collapse*. W. W. Norton & Company, New York, 2010.
453. UNEP. Accelerating the global adoption of energy efficient lighting. Technical report, United Nations Environment Programme, 2017.
454. Fouquet, R. and Pearson, P. Seven centuries of energy services: The price and use of light in the united kingdom (1300–2000). *Energy Journal*, 27:139–177, 2006.
455. Schulte-Römer, N., Meier, J., Söding, M. and Dannemann, E. The LED paradox: How light pollution challenges experts to reconsider sustainable lighting. *Sustainability*, 11(21):6160, nov 2019. doi: 10.3390/su11216160.
456. Jones, B.A. Spillover health effects of energy efficiency investments: Quasi-experimental evidence from the los angeles LED streetlight program. *Journal of Environmental Economics and Management*, 88:283–299, mar 2018. doi: 10.1016/j.jeem.2018.01.002.
457. Azad, S. and Ghandehari, M. A study on the association of socioeconomic and physical cofactors contributing to power restoration after hurricane maria. *IEEE Access*, 9:98654–98664, 2021. doi: 10.1109/access.2021.3093547.
458. Jägerbrand, A. New framework of sustainable indicators for outdoor LED (light emitting diodes) lighting and SSL (solid state lighting). *Sustainability*, 7(1):1028–1063, jan 2015. doi: 10.3390/su7011028.
459. Muñoz Curo, F.E., Benites-Alfaro, E., Criado-Davila, Y.V., Sandoval-Bocanegra, R.J.M. and Arce Vizcarra, F.G. Impact of light pollution on human rights and biodiversity. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, 13(1):402, January 2024. ISSN 2281-3993. doi: 10.36941/ajis-2024-0030.
460. Motairek, I., Chen, Z., Makhlof, M.H.E., Rajagopalan, S. and Al-Kindi, S. Historical neighbourhood redlining and contemporary environmental racism. *Local Environment*, pages 1–11, dec 2022. doi: 10.1080/13549839.2022.2155942.
461. Gaston, S., Wilkerson, J., MacNell, N., Jackson, W.B. and Jackson, C. Racial residential segregation and outdoor artificial light at night: Potential contributors to sleep disparities. *SLEEP*, 47(Supplement 1):A108–A109, April 2024. ISSN 1550-9109. doi: 10.1093/sleep/zsae067.0251.
462. Pritchard, S.B. “memory effects” and dark histories. *Environmental Humanities*, 16(1):118–141, March 2024. ISSN 2201-1919. doi: 10.1215/22011919-10943129.
463. Helbich, M., Burov, A., Dimitrova, D., Markevych, I., Nieuwenhuijsen, M.J. and Dzhambov, A.M. Sociodemographic inequalities in residential nighttime light pollution in urban bulgaria: An environmental justice analysis. *Environmental Research*, 262:119803, December 2024. ISSN 0013-9351. doi: 10.1016/j.envres.2024.119803.
464. Blair, A. *Sark in the Dark: Wellbeing and Community on the Dark Sky Island of Sark*. Sophia Centre Master Monographs. Sophia Centre Press, 2016.
465. Barnes, C. and Passmore, H.A. Development and testing of the night sky connectedness index (nsci). *Journal of Environmental Psychology*, 93:102198, February 2024. ISSN 0272-4944. doi: 10.1016/j.jenvp.2023.102198.
466. Nadybal, S.M., Collins, T.W. and Grineski, S.E. Light pollution inequities in the continental united states: A distributive environmental justice analysis. *Environmental Research*, 189:109959, oct 2020. doi: 10.1016/j.envres.2020.109959.
467. Xiao, Q., Lyu, Y., Zhou, M., Lu, J., Zhang, K., Wang, J. and Bauer, C. Artificial light at night and social vulnerability: An environmental justice analysis in the u.s. 2012–2019. *Environment International*, 178:108096, August 2023. ISSN 0160-4120. doi: 10.1016/j.envint.2023.108096.
468. Li, H., Hart, J.E., Mahalingaiah, S., Nethery, R.C., James, P., Bertone-Johnson, E., Schernhammer, E. and Laden, F. Associations of long-term exposure to environmental noise and outdoor light at night with age at natural menopause in a US women cohort. *Environmental Epidemiology*, 5(3):e154, may 2021. doi: 10.1097/ee9.0000000000000154.
469. Zhong, C., Longcore, T., Benbow, J., Chung, N.T., Chau, K., Wang, S.S., Jr, J.V.L. and Franklin, M. Environmental influences on sleep in the california teachers study cohort. *American Journal of Epidemiology*, oct 2021. doi: 10.1093/aje/kwab246.
470. Kuhn, L., Johansson, M., Laike, T. and Govén, T. Residents' perceptions following retrofitting of residential area outdoor lighting with LEDs. *Lighting Research & Technology*, 45(5):568–584, nov 2012. doi: 10.1177/1477153512464968.
471. Johansson, M., Pedersen, E., Maleetipwan-Mattsson, P., Kuhn, L. and Laike, T. Perceived outdoor lighting quality (POLQ): A lighting assessment tool. *Journal of Environmental Psychology*, 39:14–21, sep 2014. doi: 10.1016/j.jenvp.2013.12.002.
472. Frey, S. and Harper, N.J. Healing with the night: Investigations into experiences of natural darkness in overnight recollective practices. *Ecopsychology*, 15(3):259–266, September 2023. ISSN 1942-9347. doi: 10.1089/eco.2022.0073.
473. Boomsma, C. and Steg, L. Feeling safe in the dark. *Environment and Behavior*, 46(2):193–212, sep 2012. doi: 10.1177/0013916512453838.
474. Radicchi, A. and Henckel, D. Planning artificial light at night for pedestrian visual diversity in public spaces. *Sustainability*, 15(2):1488, January 2023. ISSN 2071-1050. doi: 10.3390/su15021488.
475. Zielinska-Dabkowska, K.M., Schernhammer, E.S., Hanifin, J.P. and Brainard, G.C. Reducing nighttime light exposure in the urban environment to benefit human health and society. *Science*, 380(6650):1130–1135, June 2023. ISSN 1095-9203. doi: 10.1126/science.adg5277.
476. Edensor, T. The gloomy city: Rethinking the relationship between light and dark. *Urban Studies*, 52(3):422–438, sep 2013. doi: 10.1177/0042098013504009.
477. Pritchard, S.B. The trouble with darkness: NASA's suomi satellite images of earth at night. *Environmental History*, 22(2):312–330, apr 2017. doi: 10.1093/envhis/emw102.
478. Venkatesan, A. and Barentine, J.C. Noctalgia (sky grief): Our brightening night skies and loss of environment for astronomy and sky traditions, 2023.
479. Hamacher, D.W., de Napoli, K. and Mott, B. Whiting the sky: light pollution as a form of cultural genocide, 2020.
480. Freeman, R.H. Overview: Satellite constellations. *Journal of Space Operations & Communicator*, 17(2):2, 2020.
481. Rawls, M.L., Thiemann, H.B., Chemin, V., Walkowicz, L., Peel, M.W. and Grange, Y.G. Satellite constellation internet affordability and need. *Research Notes of the American Astronomical Society*, 4(10):189, oct 2020. doi: 10.3847/2515-5172/abc48e.
482. Levchenko, I., Xu, S., Wu, Y.L. and Bazaka, K. Hopes and concerns for astronomy of satellite constellations. *Nature Astronomy*, 4(11):1012–1014, jun 2020. doi: 10.1038/s41550-020-1141-0.
483. Massey, R., Lucatello, S. and Benvenuti, P. The challenge of satellite megaconstellations. *Nature Astronomy*, 4(11):1022–1023, nov 2020. doi: 10.1038/s41550-020-01224-9.
484. Boley, A.C. and Byers, M. Satellite mega-constellations create risks in low earth orbit, the atmosphere and on earth. *Scientific Reports*, 11(1), may 2021. doi: 10.1038/s41598-021-89909-7.
485. Langston, S. and Taylor, K. Evaluating the benefits of dark and quiet skies in an age of satellite mega-constellations. *Space Policy*, 68:101611, May 2024. ISSN 0265-9646. doi: 10.1016/j.spacepol.2024.101611.
486. Hearnshaw, J. *Light Pollution and the Future of Space Science and Astronomy*, pages 259–271. Springer Nature Singapore, 2024. ISBN 9789819707140. doi: 10.1007/978-981-97-0714-0_12.

487. Garland, S.P. Losing our dark skies: The space-biased medium of satellite mega-constellations. *Astropolitics*, 22(3):194–204, September 2024. ISSN 1557-2943. doi: 10.1080/14777622.2024.2439789.
488. Nandakumar, S., Eggl, S., Tregloan-Reed, J., Adam, C., Anderson-Baldwin, J., Bannister, M.T., Battle, A., Benkhaldoun, Z., Campbell, T., Colque, J.P., Damke, G., Plauchu Frayn, I., Ghachoui, M., Guillen, P.F., Kaeouach, A.E., Krantz, H.R., Langbroek, M., Rattenbury, N., Reddy, V., Ridden-Harper, R. et al. The high optical brightness of the bluewalker 3 satellite. *Nature*, 623(7989):938–941, October 2023. ISSN 1476-4687. doi: 10.1038/s41586-023-06672-7.
489. Hainaut, O.R. and Williams, A.P. Impact of satellite constellations on astronomical observations with ESO telescopes in the visible and infrared domains. *Astronomy & Astrophysics*, 636:A121, apr 2020. doi: 10.1051/0004-6361/202037501.
490. Barentine, J.C., Venkatesan, A., Heim, J., Lowenthal, J., Kocifaj, M. and BarÁl, S. Aggregate effects of proliferating low-earth-orbit objects and implications for astronomical data lost in the noise. *Nature Astronomy*, 7(3):252–258, March 2023. ISSN 2397-3366. doi: 10.1038/s41550-023-01904-2.
491. Hasan, P. Dark skies and bright satellites: The threat to ground-based astronomy. *Resonance*, 28(4):547–565, April 2023. ISSN 0973-712X. doi: 10.1007/s12045-023-1582-8.
492. Hainaut, O.R. and Moehler, S. Contamination of spectroscopic observations by satellite constellations. *Astronomy & Astrophysics*, 683:A147, March 2024. ISSN 1432-0746. doi: 10.1051/0004-6361/202348249.
493. Mallama, A. and Cole, R.E. Extreme flaring of starlink satellites, 2024.
494. Mallama, A. The Sky Distribution and Magnitudes of Starlink Satellites by the Year 2027, September 2022. arXiv:2209.12060 [astro-ph].
495. Gaston, K.J., Anderson, K., Shuttler, J.D., Brewin, R.J. and Yan, X. Environmental impacts of increasing numbers of artificial space objects. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 21(6):289–296, April 2023. ISSN 1540-9309. doi: 10.1002/fee.2624.
496. Murphy, D.M., Abou-Ghanem, M., Cziczó, D.J., Froyd, K.D., Jacquot, J., Lawler, M.J., Maloney, C., Plane, J.M.C., Ross, M.N., Schill, G.P. and Shen, X. Metals from spacecraft reentry in stratospheric aerosol particles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(43), October 2023. ISSN 1091-6490. doi: 10.1073/pnas.2313374120.
497. Solter-Hunt, S. Potential perturbation of the ionosphere by megaconstellations and corresponding artificial re-entry plasma dust, 2023.
498. Bassa, C.G., Hainaut, O.R. and Galadí-Enríquez, D. Analytical simulations of the effect of satellite constellations on optical and near-infrared observations. *Astronomy & Astrophysics*, in press(arXiv:2108.12335), 2022.
499. Bassa, C.G., Hainaut, O.R. and Galadí-Enríquez, D. Analytical simulations of the effect of satellite constellations on optical and near-infrared observations. *Astronomy & Astrophysics*, 657:A75, jan 2022. doi: 10.1051/0004-6361/202142101.
500. Kocifaj, M., Kundracik, F., Barentine, J.C. and BarÁ, S. The proliferation of space objects is a rapidly increasing source of artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 504(1):L40–L44, mar 2021. doi: 10.1093/mnras/rlab030.
501. Lawler, S.M., Boley, A.C. and Rein, H. Visibility predictions for near-future satellite megaconstellations: Latitudes near 50° will experience the worst light pollution. *The Astronomical Journal*, 163(1):21, dec 2021. doi: 10.3847/1538-3881/ac341b.
502. Mallama, A., Cole, R.E., Harrington, S. and Respler, J. Brightness characterization for starlink direct-to-cell satellites, 2024.
503. ConstanceWalker, JeffreyHall, LoriAllen, RichardGreen, PatrickSeitzer, TonyTyson, AmandaBauer, KelsieKrafton, JamesLowenthal, JoelParriott, PhilPuxley, TimAbbott, GasparBakos, JohnBarentine, CeesBassa, JohnBlakeslee, AndrewBradshaw, JeffCooke, DanielDevost, DavidGaladí-Enríquez et al. Impact of satellite constellations on optical astronomy and recommendations toward mitigations. *Vol. 52, Issue 2, 52(2)*, aug 2020. doi: 10.3847/25c2cfeb.346793b8.
504. Walker, C. and Benvenuti, P. Dark and Quiet Skies II Working Group Reports. Technical document techdoc051, Zenodo, January 2022.
505. Józsa, G.I.G., Williams, A., Green, R., Marsh, I., Antoniadis, J., Barbosa, D., Barentine, J., Blanc, G., Boley, A., Coelho, B., Cooper, P., Dalledonne, S., Di Vruno, F., Diamond, J., Dong, A., Drimmel, R., Eggl, S., Habeeb, N., Heim, J., Hofer, C. et al. Call to protect the dark and quiet sky from harmful interference by satellite constellations, 2024.
506. Cole, R.E. Measurement of the brightness of the starlink spacecraft named “DARKSAT”. *Research Notes of the American Astronomical Society*, 4(3):42, mar 2020. doi: 10.3847/2515-1172/ab8234.
507. Tregloan-Reed, J., Otarola, A., Ortiz, E., Molina, V., Anais, J., González, R., Colque, J.P. and Unda-Sanzana, E. First observations and magnitude measurement of starlink’s darksat. *Astronomy & Astrophysics*, 637:L1, apr 2020. doi: 10.1051/0004-6361/202037958.
508. Boley, A.C., Wright, E., Lawler, S., Hickson, P. and Balam, D. Plaskett 1.8 metre observations of starlink satellites. Technical report, University of British Columbia, <http://arxiv.org/abs/2109.12494>, September 2021 2021.
509. Tregloan-Reed, J., Otarola, A., Unda-Sanzana, E., Haeussler, B., Gaete, F., Colque, J.P., González-Fernández, C., Anais, J., Molina, V., González, R., Ortiz, E., Mieske, S., Brilliant, S. and Anderson, J.P. Optical-to-NIR magnitude measurements of the starlink LEO darksat satellite and effectiveness of the darkening treatment. *Astronomy & Astrophysics*, 647:A54, mar 2021. doi: 10.1051/0004-6361/202039364.
510. Halferty, G., Reddy, V., Campbell, T., Battle, A. and Furfaro, R. Photometric characterization and trajectory accuracy of starlink satellites: implications for ground-based astronomical surveys. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 516(1):1502–1508, jul 2022. doi: 10.1093/mnras/stac2080.
511. Venkatesan, A., Lowenthal, J., Prem, P. and Vidauri, M. The impact of satellite constellations on space as an ancestral global commons. *Nature Astronomy*, 4(11):1043–1048, nov 2020. doi: 10.1038/s41550-020-01238-3.
512. Venkatesan, A. Stewardship of space as shared environment and heritage. *Nature Astronomy*, 7(3):236, March 2023. ISSN 2397-3366. doi: 10.1038/s41550-023-01915-z.
513. Neilson, H. Overview of indigenous rights and outer space for the iau-cps policy hub, 2024.
514. Falchi, F., BarÁl, S., Cinzano, P., Lima, R.C. and Pawley, M. A call for scientists to halt the spoiling of the night sky with artificial light and satellites. *Nature Astronomy*, 7(3):237–239, March 2023. ISSN 2397-3366. doi: 10.1038/s41550-022-01864-z.
515. Hall, J. and Walker, C. Executive summary. In *SATCON2 Workshop Report*, <https://noirlab.edu/public/media/archives/techdocs/pdf/techdoc031.pdf>, October 2021 2021. NSF’s NOIRLab.
516. Groth, S.E. Mega-constellations: Disrupting the space legal order. *Emory International Law Review*, 37(1):102–134, 2022.
517. Koplow, D.A. Blinded by the light: Resolving the conflict between satellite megaconstellations and astronomy. *SSRN Electronic Journal*, 2023. ISSN 1556-5068. doi: 10.2139/ssrn.4346299.
518. Lawrence, A., Rawls, M.L., Jah, M., Boley, A., Vruno, F.D., Garrington, S., Kramer, M., Lawler, S., Lowenthal, J., McDowell, J. and McCaughrean, M. The case for space environmentalism. *Nature Astronomy*, 6(4):428–435, apr 2022. doi: 10.1038/s41550-022-01655-6.
519. Barentine, J.C., Heim, J., Venkatesan, A., Lowenthal, J. and Vidauri, M. Reimagining near-earth space policy in a post-covid world. *Virginia Policy Review*, 15(1):58–86, 2022. doi: 10.48550/ARXIV.2207.12292.
520. Runnels, M.B. On launching environmental law into orbit in the age of satellite constellations. *Journal of Air Law and Commerce*, 88(1):181, 2023. ISSN 0021-8642. doi: 10.25172/jalc.88.1.5.
521. Latson, J. Higher altitudes and higher standards: Advocating the fcc require environmental assessments for mega-constellations. *The Journal of Business, Entrepreneurship & the Law*, 16(1):105–138, 2023.
522. Kernbach, M.E., Miller, C., Alaasam, V., Ferguson, S. and Francis, C.D. Introduction to the symposium: Effects of light pollution across diverse natural systems. *Integrative and Comparative Biology*, 61(3):1089–1097, jul 2021. doi: 10.1093/icb/ibab157.
523. Rodrigo-Comino, J., Seeling, S., Seeger, M.K. and Ries, J.B. Light pollution: A review of the scientific literature. *The Anthropocene Review*, page 205301962110512, nov 2021. doi: 10.1177/20530196211051209.
524. Ahmadi, M. and Ahmadi, M.A. The indication methods and techniques of urban light pollution. *International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning*, 32(1), Jan 2022. doi: 10.22068/ijau.528.
525. Kyba, C.C., Pritchard, S.B., Ekirch, A.R., Eldridge, A., Jechow, A., Preiser, C., Kunz, D., Henckel, D., Höker, F., Barentine, J., Berge, J., Meier, J., Gwiazdzinski, L., Spitschan, M., Milan, M., Bach, S., Schroer, S. and Straw, W. Night matters—why the interdisciplinary field of “night studies” is needed. *J — Multidisciplinary Scientific Journal*, 3(1):1–6, jan 2020. doi: 10.3390/j3010001.