



Ciencia para
las Políticas
Públicas



Contaminación lumínica

Los peligros de un mundo cada
vez más iluminado

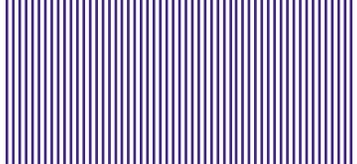
Coordinado por:

Alicia Pelegrina · José Manuel Vílchez · Francisco Ramírez · Airam Rodríguez



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

SCIENCE  POLICY



Ciencia para Las Políticas Públicas



Informe de transferencia
de conocimiento



Este es un libro de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional [CC BY 4.0].
Más información sobre esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Las noticias, los asertos y las opiniones contenidos en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor o autores. La editorial, por su parte, solo se hace responsable del interés científico de sus publicaciones.

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:
<https://cpage.mpr.gob.es>

EDITORIAL CSIC: <http://editorial.csic.es> [correo: publ@csic.es]



Departamento de Comunicación

Gabinete de Presidencia
CSIC, Calle Serrano 117
28006 Madrid
Email: comunicacion@csic.es

NIPO: 155-24-142-1
e-NIPO: 155-24-143-7
Depósito Legal: M-13962-2024

Edición no venal

Coordinado por:

Alicia Pelegrina
Jose Manuel Vílchez
Francisco Ramírez
Aíram Rodríguez

Coordinadores de la colección Ciencia para las Políticas Públicas:

Jorge Hernández-Moreno
Cindy Matos Ramos

Edición:

Marta García Gonzalo

Fotógrafos:

Aíram Rodríguez, Alejandro Sánchez de Miguel, Beneharo Rodríguez, Dominique Joubert, Jose Jiménez, José Antonio Ruiz-Bueno, Laura Hermosa, Máximo Bustamante-Calabria, Miguel de Felipe Toro, Ruth Martínez, Xuan González

Imagen de portada:

Laura Hermosa y Xuan González

Ilustraciones:

Freepress Coop

Diseño y maquetación:

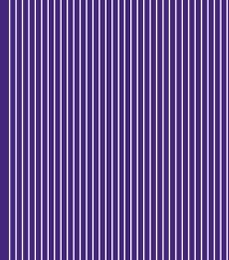
David Pamplona Roche

Impreso en España. *Printed in Spain*

En esta edición se ha utilizado papel ecológico sometido a un proceso de blanqueado ECF, cuya fibra procede de bosques gestionados de forma sostenible.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.



El CSIC tiene entre sus funciones la de informar, asistir y asesorar en materia de ciencia y tecnología a entidades públicas y privadas, según recoge el artículo 5 de su Estatuto. Enmarcado en esta función, el informe *Contaminación lumínica, los peligros de un mundo cada vez más iluminado*, de la colección Ciencia para las Políticas Públicas, se presenta como un documento dirigido a administraciones y a la sociedad en general. En él se expone el desafío que supone hacer frente a la contaminación lumínica, un problema ambiental causado por la creciente proliferación de luz artificial en nuestro planeta, que se ha convertido en uno de los motores del cambio global sin precedentes al que asistimos. Se revisan sus impactos potenciales, que se extienden a ámbitos tan diversos como la salud medioambiental y humana, las observaciones astronómicas o nuestro patrimonio cultural y se recogen algunas de las acciones y líneas de investigación con las que el CSIC está dando respuesta a este reto.

ÍNDICE

uno

|||||

La contaminación lumínica

- 1.1. Introducción
- 1.2. Algunos conceptos para comprender el problema
- 1.3. Situación actual
- 1.4. ¿Cómo nos afecta la contaminación lumínica?
- 1.5. Los retos de una iluminación sostenible
- 1.6. Otras amenazas

dos

|||||

¿Cómo hace frente el CSIC a la contaminación lumínica?

- 2.1. Ámbito medioambiental
- 2.2. Ámbito astronómico
- 2.3. Ámbito social
- 2.4. Ámbito de la salud

tres

|||||

Conclusiones y recomendaciones

cuatro

|||||

Listado de centros

cinco

|||||

Para saber más





UNO



La contaminación lumínica



11.

Introducción

NUESTRO planeta, desde su origen hace unos 4500 millones de años, ha experimentado múltiples cambios a escala global. Es un planeta cambiante. En el momento actual, estamos inmersos en uno de estos procesos de cambio, sin embargo, este es diferente. Su origen derivado de la actividad humana, la velocidad a la que se está produciendo, la magnitud de cada amenaza y la interacción entre ellas (sinergias) hace que nos enfrentemos a un cambio global sin precedentes y de consecuencias nefastas para la vida tal y como la conocemos hoy. Dos de las principales amenazas que están provocando este cambio anómalo son la transformación de los hábitats y su degradación. Y detrás de ellas se encuentran diferentes formas de polución entre las que destaca la contaminación lumínica por presentar una tasa de incremento anual más rápida que ningún otro motor del cambio global.

La contaminación lumínica se define como la alteración de la oscuridad natural de la noche provocada por la luz artificial. La contaminación lumínica es un fenómeno creciente. Cada año, la superficie mundial iluminada y la intensidad de brillo artificial del cielo nocturno crece en torno a un 2,2 %, aunque estudios recientes apuntan a que este porcentaje podría ser mayor. En 2021, el CSIC, participó en un estudio que puso de manifiesto que la contaminación lumínica ha crecido en torno a un 50 % en los últimos 25 años. Otros trabajos que no utilizan información de satélites, sino datos tomados desde tierra apuntan a un crecimiento del 9,6 % anual. Y, no nos engañemos, aunque no sea tangible, no huela o no haga ruido, se trata de contaminación en el sentido estricto de la palabra y supone una amenaza para las observaciones astronómicas, para el equilibrio de los ecosistemas y para nuestra salud.

La contaminación lumínica es un riesgo inminente al que debemos dar respuesta del mismo modo que afrontamos otras amenazas como la gestión de residuos, la sequía o la protección de los océanos.



Cuando hablamos de contaminación nos referimos a la presencia de elementos o sustancias (agentes contaminantes) que no deberían estar en el medio y que alteran sus condiciones naturales. En el caso de la contaminación lumínica el agente contaminante es la luz artificial y el medio es la noche. Y no es un agente contaminante cualquiera. Hay una característica que convierte a la luz artificial en un peligrosísimo agente contaminante, su capacidad para propagarse en todas las direcciones y la alta velocidad con la que lo hace, 300 000 kilómetros por segundo.

La principal fuente emisora de luz artificial que origina la contaminación lumínica es el alumbrado de exteriores. Seguramente, cuando pensamos en él, nuestra mente dibuja la imagen de largas hileras de farolas a lo largo de calles y avenidas en nuestros pueblos y ciudades. Pero el alumbrado de exteriores no se limita solo a los puntos de luz que inundan calles y carreteras, va más allá: incluye también el alumbrado de calles peatonales y parques, el alumbrado deportivo y de recreo (estadios de fútbol, pistas de atletismo, etc.), el alumbrado industrial (áreas de trabajo) y el alumbrado ornamental y decorativo (estatuas, edificios, centros comerciales, escaparates, etc.).

Hay un momento clave en la historia de la humanidad en el que la luz artificial comienza a ser una amenaza para la noche: la Revolución Industrial. A partir de 1870 confluyen varios hechos como la industrialización masiva, el aumento de la producción agrícola (que se traduce en una mejora de la alimentación de la población), los avances médicos y las mejoras higiénico-sanitarias que provocan que la población mundial se duplique en apenas un siglo. Esto, unido a la cada vez mayor popularidad de la electricidad, supuso un aumento desmedido de los puntos de luz. La noche se hizo día.



Alumbrado público en núcleo urbano. / ADOBE STOCK



La contaminación lumínica, desde su origen, es un problema ambiental con un enorme componente social. El problema, y al mismo tiempo la solución, radica en la percepción social de la luz artificial. Culturalmente la luz artificial es sinónimo de bienestar, de belleza, de sociedades avanzadas, de estatus y de seguridad. Y esto nos lleva a que la contaminación lumínica sea una problemática ambiental de alcance global que no percibimos como amenaza, sino como una señal inequívoca de bienestar y nivel de progreso.

La contaminación lumínica es un problema ambiental que requiere una aproximación directa. No son suficientes medidas derivadas de estrategias que hagan frente a otros retos ambientales; necesita ser abordado desde una perspectiva conjunta que abarque los ámbitos científico, político, social y legislativo. Y, además, requiere un esfuerzo extra para conseguir que la sociedad sea consciente de su existencia y conozca el verdadero alcance de esta grave amenaza.

La responsabilidad ante este reto, por tanto, ha de ser compartida. Comunidad científica, políticos y agentes económicos y sociales debemos asumir nuestra parte de responsabilidad. Es indispensable que aunemos esfuerzos en pro de un modelo de iluminación responsable. El alumbrado exterior de nuestros pueblos y ciudades debe ayudarnos a caminar sin tropezarnos, evitar posibles accidentes, garantizar nuestra seguridad, favorecer la actividad económica en las horas sin sol o realzar la belleza de nuestros edificios más emblemáticos, pero nunca debe alterar la actividad científica de los observatorios astronómicos, impedirnos disfrutar del espectáculo de un cielo estrellado, alterar nuestra salud o el equilibrio de los ecosistemas. Tampoco podemos olvidar que el cielo puede convertirse en motor de desarrollo económico sostenible en zonas rurales contribuyendo a frenar los fenómenos de despoblamiento.

La Declaración Universal de los Derechos Humanos de las Generaciones Futuras recoge de forma explícita que «las personas pertenecientes a las generaciones venideras tienen derecho a una tierra indemne y no contaminada». La declaración de La Palma, firmada por instituciones referentes como la Organiza-



Ejemplo de fuentes urbanas de contaminación lumínica. / AIRAM RODRÍGUEZ

ción de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) o la Unión Astronómica Internacional (IAU) entre otras, también reconoce «el derecho a un cielo nocturno no contaminado como un derecho inalienable de la Humanidad, equiparable al resto de los derechos ambientales, sociales y culturales». Y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), concretamente los números 3 (salud y bienestar), 11 (ciudades y comunidades sostenibles), 12 (producción y consumo responsables), 14 (vida submarina) o 15 (vida de ecosistemas terrestres) están amenazados por la contaminación lumínica.

Frenar la iluminación masiva de nuestro planeta debe convertirse en un objetivo común, por nosotros y por quienes vendrán.

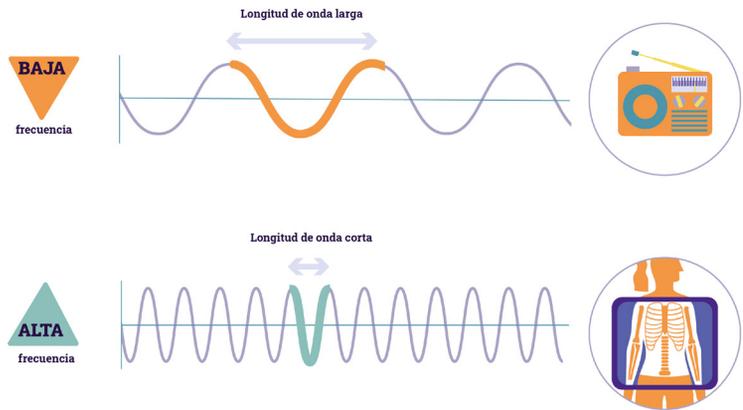
1.2.

Algunos conceptos para comprender el problema

¿Qué es la luz?

La luz (también denominada radiación electromagnética) es un conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan a gran velocidad. Cada una de estas ondas electromagnéticas se caracteriza por su frecuencia (medida en hercios [Hz]) y por su longitud de onda (en nanómetros [nm]; la milmillonésima parte de un metro).

Gráfico 1 Esquema de una onda electromagnética

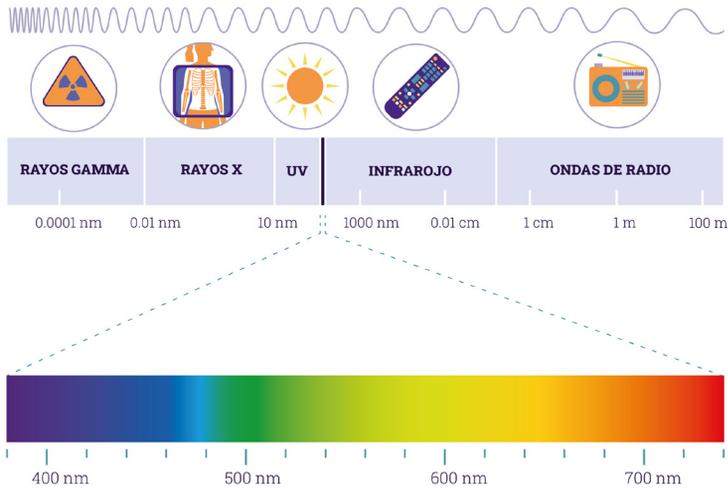


ELABORACIÓN PROPIA

Dependiendo de su frecuencia y longitud de onda, encontramos distintos tipos de ondas electromagnéticas que en conjunto reciben el nombre de **espectro electromagnético**.



Gráfico 2 Espectro electromagnético destacando la franja del visible



ELABORACIÓN PROPIA

Lo que entendemos cotidianamente por *luz* es solo un estrecho rango dentro de este extenso espectro electromagnético. En concreto, el que se extiende entre los 400 nm y 700 nm. Es el denominado rango *visible* o *luz visible*, el único al que el ojo humano es sensible. Para el resto de la radiación electromagnética somos ciegos, aunque gracias al ingenio y al desarrollo de la tecnología somos capaces de «escuchar» las ondas de radio, calentar nuestro desayuno con un horno de microondas, cambiar canales en la televisión con nuestro mando a distancia infrarrojo, analizar la escena de un crimen con luz ultravioleta, realizar pruebas clínicas con rayos X y gamma, y emplear telescopios y detectores para revelar el universo en todas y cada una de estas longitudes de onda.

Caracterización de una fuente de luz artificial

Entre otros parámetros, la luz artificial se puede caracterizar a través del flujo luminoso, la temperatura de color y la dirección de la luz.

El flujo luminoso es la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa (medida en lúmenes [lm]).

La temperatura de color (medida en kelvins [K] antes llamados *grados Kelvin*) nos indica el color de la luz que emite. El valor de este parámetro nos indica si la fuente de luz tiende a colores más cálidos o más fríos. Cuanto menor sea el valor de la temperatura de color más cálida será la luz emitida por la fuente.

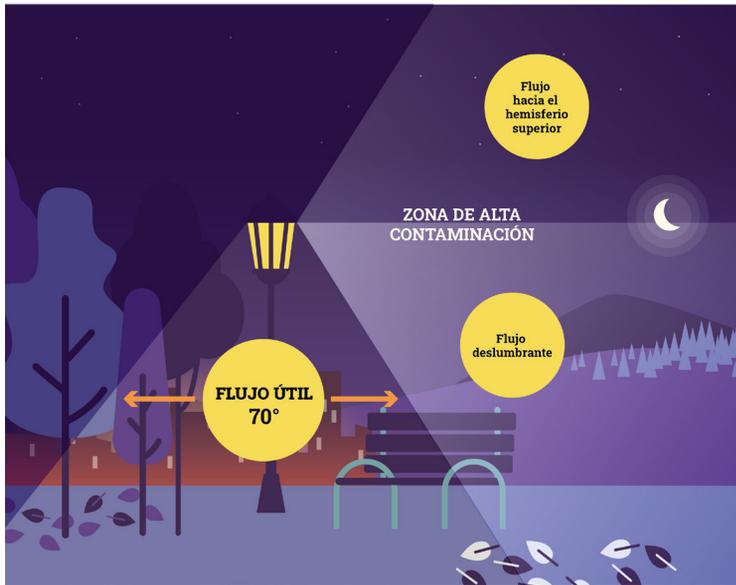
La dirección es el ángulo en el que se emite la luz desde la fuente luminosa y puede oscilar entre 0° (apuntando directamente hacia el suelo) y 180° (si el flujo luminoso apunta totalmente al cenit). Considerando que las capas más densas de la atmósfera, las que más partículas contienen, se encuentran en los primeros kilómetros desde la superficie, la luz artificial que emite una fuente luminosa experimentará una mayor dispersión si el ángulo de emisión de la misma es próximo a la horizontal (70° - 130°), pudiendo alcanzar distancias de cientos de kilómetros.

Esto implica que el brillo artificial que presenta el cielo que observamos en cualquier parte del mundo no solo procede de los puntos de luz de las zonas urbanas más cercanas, sino que es el resultado de la suma de la luz dispersada desde fuentes de luz situadas a grandes distancias. En el modelo urbanístico predominante en nuestras ciudades, rodeadas de amplias zonas metropolitanas, aproximadamente el 20% del brillo artificial que observamos durante la noche en el cielo proviene de fuentes situadas en los pueblos adyacentes. Por eso, cuando hablamos de contaminación lumínica, hablamos de un problema ambiental de alcance global que necesita, por tanto, de una respuesta conjunta.

Cuando el ángulo de emisión es próximo al cenit (ángulos entre 130° y 180°), la dispersión no es tan intensa. Los puntos de luz que emiten en este ángulo contribuirán predominantemente al aumento del brillo del cielo a nivel local.



Gráfico 3 Ángulos de emisión



ELABORACIÓN PROPIA

El flujo hemisférico superior (FHS) es la cantidad de luz que se emite hacia el hemisferio superior. Este parámetro se ha incorporado en toda la normativa en vigor relativa a alumbrado de exteriores y contaminación lumínica, de forma que un FHS pequeño se asocia a luminarias poco contaminantes. Pero su utilidad puede ponerse cuando menos en duda porque no tiene en cuenta la dirección en la que se emite la luz. Una luminaria puede tener un FHS pequeño, pero si toda la luz, por poca cantidad que sea, la emite en ángulos próximos a la horizontal, estamos ante una fuente de luz muy contaminante. Es decir, un valor de FHS pequeño no es sinónimo de poco contaminante.

Lámparas y luminarias

En el alumbrado de exteriores hay dos piezas clave que juegan un importante papel en el problema ambiental que nos ocupa: la lámpara y la luminaria. Ambas son determinantes para controlar los niveles de contaminación lumínica.

Las lámparas son las encargadas de emitir la luz. En el alumbrado exterior encontramos diferentes tipos en función de la forma en que se genera la luz artificial: incandescentes, de descarga o led (del inglés, *light emitting diode*).

Las lámparas incandescentes emiten luz por calentamiento cuando un filamento conductor muy fino aumenta su temperatura. En las lámparas de descarga, entre las que se incluyen los fluorescentes, la luz artificial se produce cuando provocamos una descarga eléctrica dentro de una ampolla que está rellena de gases o vapores metálicos. Podemos encontrar diferentes tipos de lámparas de descarga en función del gas utilizado y de la presión del mismo. Así, las lámparas de descarga pueden ser de presión alta o baja. En cuanto al gas utilizado, puede ser vapor de sodio o de mercurio, aunque el uso de este último fue prohibido en la Unión Europea en el año 2015.

Otro tipo de lámpara cuyo uso se ha extendido estrepitosamente en el alumbrado exterior durante los últimos años son las lámparas tipo led. En este tipo de lámpara la luz se genera por un fenómeno de electroluminiscencia al hacer pasar una corriente eléctrica a través de un material semiconductor.

La luminaria es la estructura que soporta una o varias lámparas. Es la encargada de distribuir, filtrar, transformar la luz emitida y dirigir el flujo luminoso en la dirección del objeto o área que queremos iluminar.

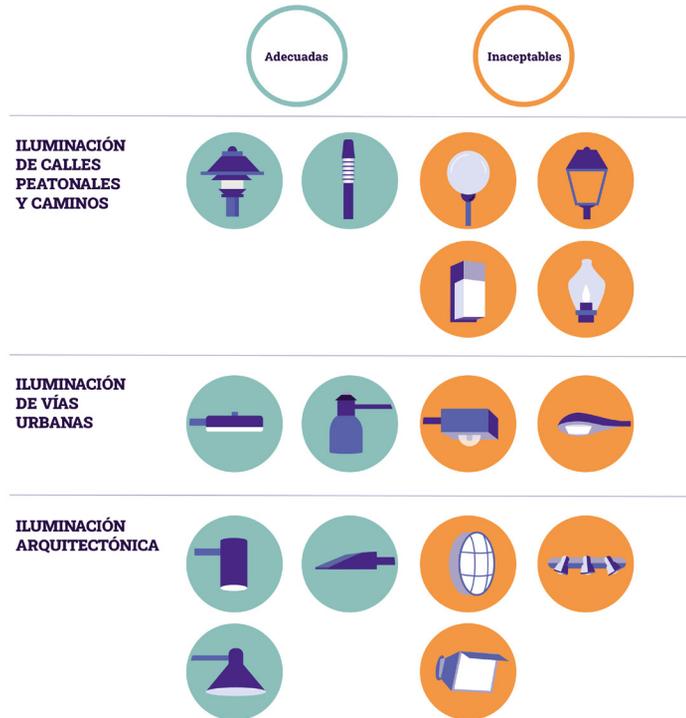


Gráfico 4 Tipos de lámparas



ELABORACIÓN PROPIA

Gráfico 5 Tipos de luminarias



ELABORACIÓN PROPIA

El diseño que presenta la luminaria condiciona la dirección en la que se emite la luz desde la lámpara hacia el medio. Este ángulo de emisión es un factor determinante en el nivel del brillo artificial del cielo y en la capacidad de intrusión de la luz artificial. Otro factor importante vinculado a las luminarias es la altura a la que se instala. Cuanto menor sea la altura, mejor podremos controlar la dispersión de la luz y conseguir el mismo nivel de iluminación usando lámparas con menor potencia.



Formas en las que se manifiesta la contaminación lumínica

La mayoría de nosotros, asociamos la contaminación lumínica, con «ese brillo luminoso» que inunda nuestros cielos durante la noche. Efectivamente, lo que se conoce como brillo artificial del cielo nocturno (también denominado *skyglow*, si usamos su término inglés), es la manifestación de la contaminación lumínica más popular, pero no la única. Probablemente, el hecho de que en los años setenta los astrónomos fueran los primeros en manifestar su preocupación creciente por esta forma de contaminación lumínica ha hecho que sea la manifestación más conocida a nivel social. Pero la contaminación lumínica tiene otras formas de mostrarse que van más allá de la difusión de la luz hacia el cielo provocando ese brillo artificial. La intrusión lumínica y el deslumbramiento son también otras caras de la misma moneda.

Brillo artificial del cielo o *skyglow*: Cuando la luz artificial apunta directamente al cielo o lo alcanza reflejada por pavimentos y por fachadas de edificios nos encontramos con la cara más agresiva y conocida de la contaminación lumínica: el brillo artificial del cielo nocturno, que afecta directamente a las observaciones astronómicas, altera el paisaje de noche, impidiéndonos disfrutar de cielos estrellados, y perturba enormemente a los animales nocturnos.

Pero ¿qué ocurre cuando la luz artificial llega al cielo? Las partículas presentes en la atmósfera van a interactuar con la luz y esta se va a dispersar en todas las direcciones. Es como si las partículas atmosféricas actuaran como una especie de fuente secundaria de luz. La forma en que se propaga la luz visible en la atmósfera va a depender de la longitud de onda de la luz emitida y del tipo de partícula con la que interactúe, que podrá ser una molécula de gas o un aerosol. Cuanto menor sea la longitud de onda de la luz que incide en las moléculas de gas (luz azul), mayor será el efecto de dispersión. Por el contrario, la luz de mayor longitud de onda (luz roja) tiene menor capacidad de dispersión. Respecto al rango del espectro de emisión de la fuente de luz, cuanto mayor sea este, más aumenta el brillo artificial del cielo, ya que la luz emitida abarca un mayor número de longitudes de onda e incrementa las posibilidades de encuentro entre la luz y



Brillo artificial del cielo en un paraje natural. / JOSE JIMÉNEZ

las partículas presentes en la atmósfera. La capacidad dispersiva de la luz artificial se acrecienta también con la presencia de partículas atmosféricas.

El nivel de contaminación atmosférica, la humedad y la presencia de nubes intensifican el número de partículas presentes en la atmósfera. Esto se traduce en una mayor dispersión de la luz artificial en ella y en un aumento del brillo artificial del cielo. Entre enero y abril de 2020, durante el periodo más estricto de confinamiento provocado por la pandemia de la COVID-19, se llevaron a cabo en diferentes ciudades del mundo diversos estudios para investigar el impacto del confinamiento en los niveles del brillo



artificial del cielo. Un estudio realizado desde el CSIC en la ciudad de Granada concluyó que, debido a la importante disminución de partículas contaminantes procedentes del tráfico urbano en la atmósfera, los niveles del brillo artificial del cielo fueron más bajos que en los meses previos.

La intrusión lumínica: Se produce cuando el flujo luminoso sobrepasa el espacio que se quiere iluminar e inunda otras áreas. En general, se debe al uso de luminarias con exceso de altura o posicionadas cerca de áreas que no deben iluminarse, como, por ejemplo, la luz que entra a las viviendas a través de balcones y ventanas. Es una de las manifestaciones de la contaminación lumínica que las personas percibimos como más molestas, aunque sin ser conscientes de que se trata de una evidencia de este problema ambiental. La luz intrusa también es muy frecuente en las zonas costeras en las que grandes extensiones de agua son iluminadas por las interminables hileras de farolas de los paseos marítimos.

Las luminarias esféricas, como las farolas que cuelgan de las fachadas, los focos que iluminan nuestros monumentos, los grandes carteles luminosos de centros comerciales, escaparates, discotecas, etc., son contaminantes responsables de la intrusión lumínica.

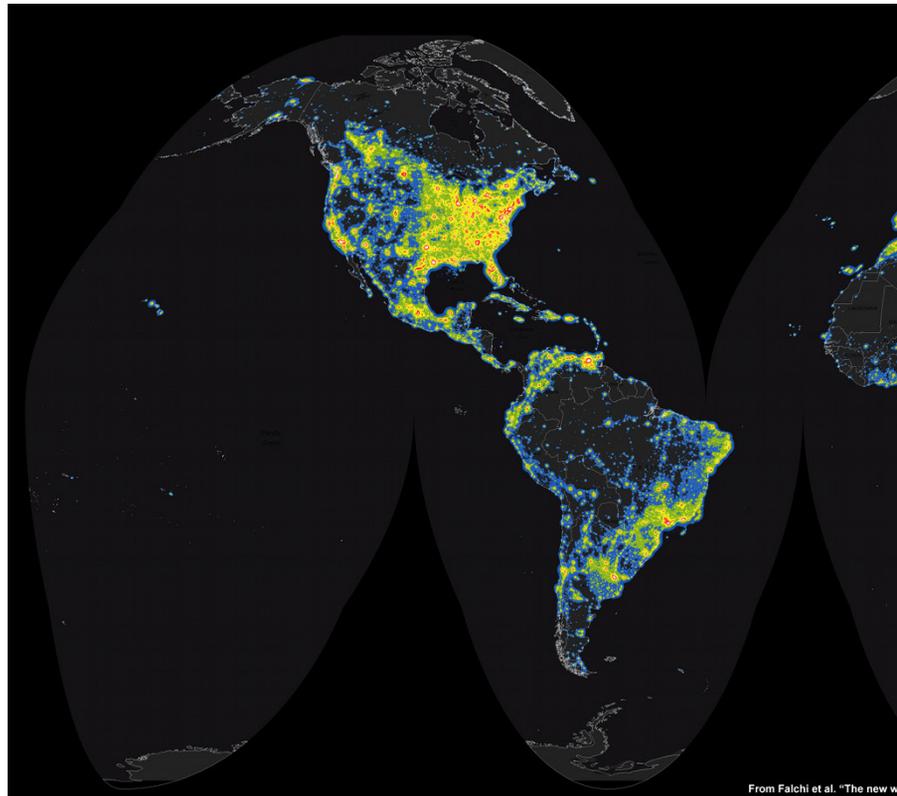
El deslumbramiento: Se produce bien porque las luminarias están mal orientadas y apuntan la luz directamente a nuestros ojos (o a los órganos fotosensibles de otros organismos) irrumpiendo en nuestro campo de visión (deslumbramiento directo), o bien por un exceso de luz sobre una superficie determinada que alcanza nuestra visión (deslumbramiento reflejado). El deslumbramiento es una manifestación de la contaminación lumínica especialmente importante en el alumbrado de las carreteras, donde se debe prestar especial atención a los excesos de potencia, a los cambios bruscos de zonas muy iluminadas a zonas oscuras, o a las luminarias mal dirigidas para evitar los deslumbramientos.

13.

Situación actual

La contaminación lumínica es un problema ambiental de alcance global. La capacidad que tiene la luz para dispersarse le permite alcanzar largas distancias desde las fuentes de luz, por lo que la contaminación lumínica no debe considerarse un problema únicamente urbano. Así lo demuestran datos de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), según los cuales dos tercios de las áreas clave para la biodiversidad de nuestro planeta están expuestas a contaminación lumínica.

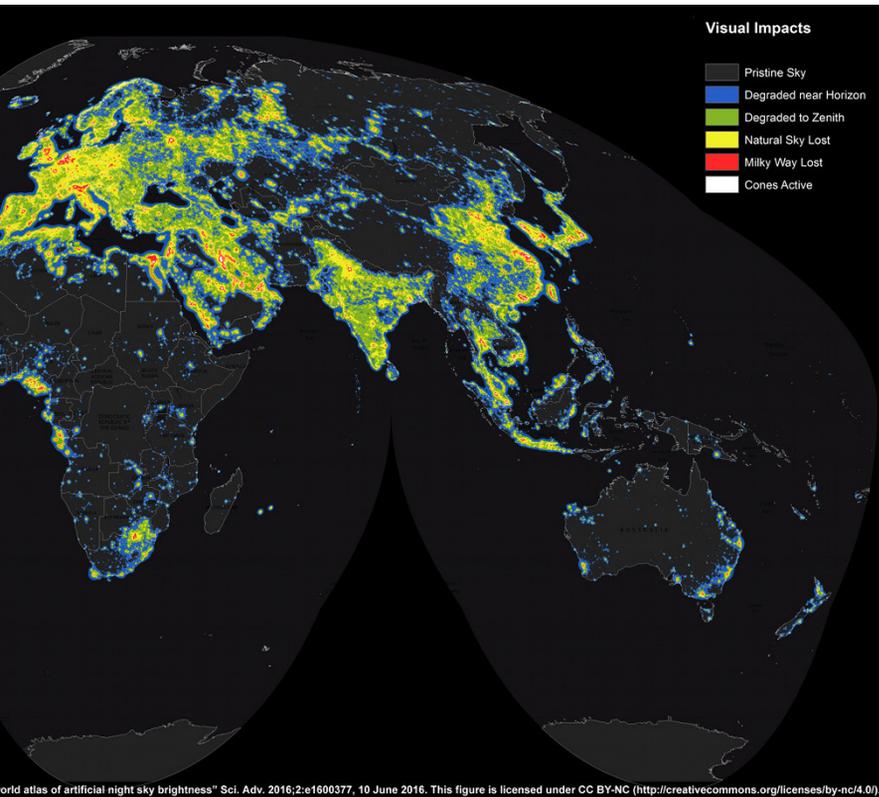
Proporcionar datos numéricos específicos sobre esta problemática mundial es difícil debido a la variabilidad en los métodos de recogida de datos, la inexistencia de una metodología estandarizada para la medición y caracterización del problema y a la inexistencia de informes oficiales globales exhaustivos.



From Falchi et al. "The new w



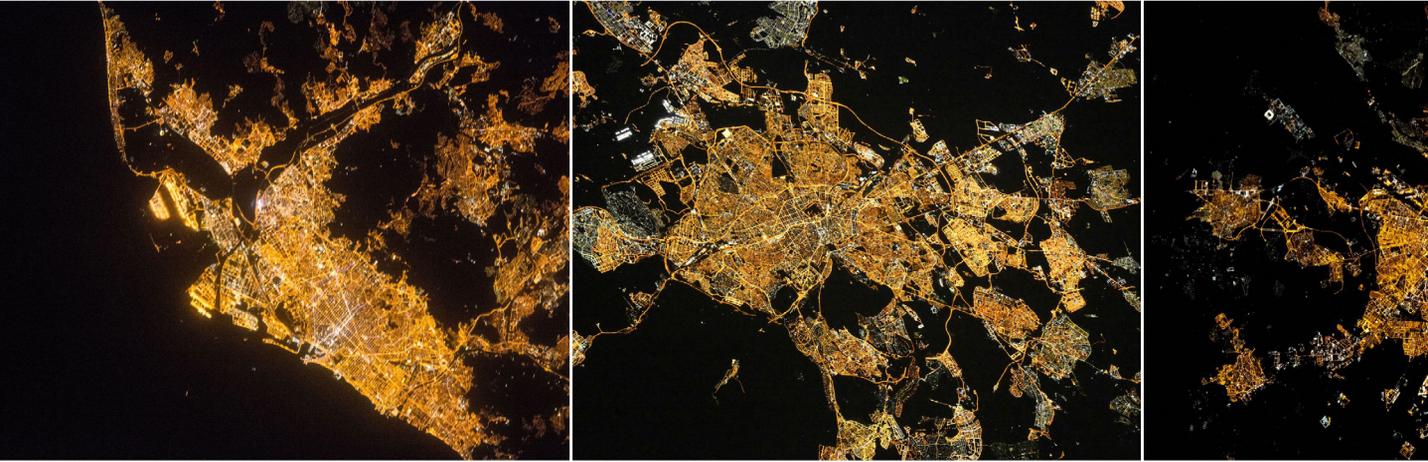
Una de las herramientas más usadas por la comunidad científica internacional a partir de la cual extraer datos sobre este problema ambiental es el mapa mundial del brillo del cielo publicado en 2016. Este mapa, como su nombre indica, recoge información sobre la manifestación más visible del brillo artificial del cielo, provocado por la dispersión de la luz artificial en la atmósfera debida a la iluminación desmedida de nuestros pueblos y ciudades. Según el mapa mundial del brillo del cielo, el 85% de la población mundial vive bajo cielos contaminados. Si vivimos en Europa o en Estados Unidos, los números se disparan hasta el 99%. Un dato este que contrasta con los más de 1300 millones de habitantes del planeta que no tienen acceso a la electricidad.



Mapa mundial del brillo del cielo

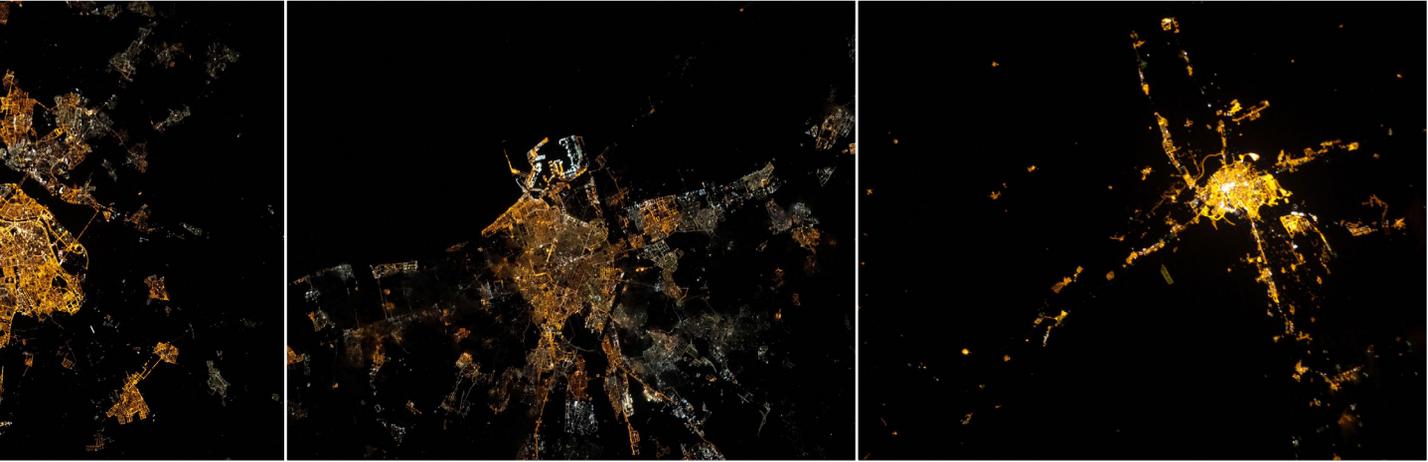


FALCHI ET AL., 2016



Chad, República Centroafricana y Madagascar son los países menos afectados por la contaminación lumínica. Tres cuartas partes de sus habitantes viven bajo un cielo nocturno totalmente exento de brillo artificial. Singapur, por el contrario, es el país más contaminado lumínicamente del mundo. Toda su población vive bajo un cielo nocturno tan brillante que el ojo humano no puede adaptarse plenamente a la oscuridad. Le siguen Kuwait, Catar, Emiratos Árabes Unidos y Arabia Saudí. La fuerte industria petrolera que comparten estos países les garantiza un suministro energético que favorece la proliferación de puntos de luz.

Europa es el continente más contaminado lumínicamente del planeta. Las ciudades más críticas son Madrid, París, Milán, Ámsterdam, Bruselas y Londres. Nuestro país, España, es el tercer Estado de la Unión Europea, solo superado por Grecia y Malta, en cuanto a niveles de contaminación lumínica, y donde se produce un mayor gasto en el alumbrado público por habitante, con valores medios de consumo por habitante y año de 116 kilovatios-hora (kwh) frente a los 43 kwh que se consumen en Alemania o los 91 kwh de Francia.



Madrid es la ciudad que más potencia emite y, por tanto, la que más luz lanza al cielo, seguida por Zaragoza, Sevilla, Barcelona y Valencia. Sin embargo, si nos fijamos en las fuentes de luz más contaminantes (luces blancas, flujo al hemisferio superior y ángulos de emisión próximos a la horizontal) el ranking lo encabeza Bilbao, seguida por Hospitalet de Llobregat (Barcelona) y Barakaldo (Bizkaia).

Imágenes tomadas desde la Estación Espacial Internacional (Barcelona, Madrid, Sevilla, Valencia, Zaragoza) ESA/NASA.
LOCALIZACIÓN CITIES AT NIGHT

1.4.

¿Cómo nos afecta la contaminación lumínica?

ENTENDER las consecuencias negativas que tiene la contaminación lumínica puede ayudarnos a ser más conscientes del problema real que supone la iluminación desmedida de nuestros pueblos y ciudades. La luz artificial es un elemento indispensable en nuestro modelo social actual, pero es importante que conozcamos las consecuencias de su uso inadecuado y extremo.

La contaminación lumínica impacta fundamentalmente en cuatro ámbitos: el equilibrio de los ecosistemas, las observaciones astronómicas, el patrimonio cultural y nuestra salud.

Equilibrio de los ecosistemas

Pese a las variaciones estacionales, los ciclos de luz y oscuridad han permanecido más o menos invariables durante millones de años. La vida se ha desarrollado y evolucionado bajo este patrón predecible de luz y oscuridad por lo que las funciones biológicas esenciales, como la reproducción, la búsqueda de alimento, la migración o la floración, están adaptadas a dichos ciclos de luz y oscuridad.

Sin embargo, la contaminación lumínica ha irrumpido con fuerza en los ecosistemas para romper esos patrones cíclicos y ordenados a los que los seres vivos estamos adaptados.

Se han documentado impactos biológicos en prácticamente todos los grupos taxonómicos del árbol de la vida, lo que convierte a la luz artificial en un factor de riesgo para el equilibrio de los ecosistemas y la biodiversidad de nuestro planeta. Impactos que se han detectado en la fisiología y el comportamiento de los individuos, en la abundancia y distribución de las especies, y en la estructura y función de las comunidades y los ecosistemas.

A pesar de la gran diversidad de impactos identificados podemos destacar cuatro que pueden ser claves para entender el problema:



- La iluminación artificial, incluso a muy bajas intensidades, suprime la secreción de hormonas tan importantes como la melatonina. Esta hormona interviene en la regulación del sueño, los ritmos circadianos, el estrés oxidativo y la respuesta inmune. Además, es un inhibidor del crecimiento de células cancerígenas.
- La contaminación lumínica cambia las señales lumínicas estacionales y diarias alterando funciones esenciales en los ciclos vitales de los organismos, como la reproducción, la migración, la floración, la alimentación y la supervivencia.
- Los puntos de luz artificial interfieren en la orientación y el movimiento de los organismos, bien porque confunden a sus propios sistemas naturales de orientación o bien porque actúan como elemento de atracción o repelencia, incluso cuando estos puntos de luz están situados a distancias de cientos de kilómetros.
- La contaminación lumínica, debido a que puede modificar los tiempos y frecuencias de las funciones biológicas de las especies, puede alterar las relaciones entre estas, un aspecto clave de la biodiversidad, como el vínculo entre el polinizador y la planta, el depredador y la presa o el parásito y el hospedador, entre otros ejemplos. A través de efectos en cascada, la contaminación lumínica afecta incluso a especies que no están directamente bajo la influencia de la luz artificial.

La contaminación lumínica, por tanto, desencadena respuestas que afectan a todos los niveles de organización ecológica desde los individuos hasta los ecosistemas pasando por las poblaciones y las comunidades.

Observaciones astronómicas

Avanzar en el conocimiento del universo no es posible si no garantizamos un cielo oscuro. Gran parte de la actividad astronómica se basa en observar un objeto celeste y medir la cantidad de luz por intervalo de longitud de onda que emite el objeto, que es lo que se conoce como su *espectro de emisión*. Podríamos decir que los espectros de emisión de los objetos celestes son como sus códigos QR que luego leen los astrónomos utilizando todas las leyes físicas y modelos matemáticos a su disposición, obteniendo así información sobre la naturaleza del objeto observado.

Para que el cielo pueda ser un buen laboratorio de ciencia, desde el punto de vista astronómico, debe cumplir tres criterios que son los que condicionan la búsqueda de los mejores emplazamientos del mundo para situar y construir los telescopios:

1. Que no haya presencia de masas de nubes y aerosoles.
2. Que sea muy estable atmosféricamente, es decir, que no se formen burbujas de aire (similares a las que se crean en el agua en ebullición) que actúen como lentes inestables, que se crean y se destruyen rápidamente, y que emborronan la imagen del objeto que estamos observando.
3. Que no tenga brillo artificial. Cuanto más brille artificialmente el cielo por la noche, menor será el contraste entre el color del fondo del cielo y el objeto astronómico observado. Por lo que en cielos muy contaminados lumínicamente solo podremos observar cuerpos extremadamente brillantes que sean capaces de contrastar con la luminosidad de ese cielo luminoso, y nos perderemos infinidad de objetos.

No podemos poner en riesgo el desarrollo científico y tecnológico ligado a los observatorios. La ciencia moderna le debe mucho a la observación del cielo y al estudio de los fenómenos astronómicos. El avance del conocimiento nos permite dar respuestas a prioridades sociales como la salud, las comunicaciones, la erradicación de la pobreza o la defensa del medioambiente.



Patrimonio cultural

La grandiosidad del cielo nocturno ha despertado la curiosidad e interés de la humanidad desde su origen. El ser humano, además de disfrutar de la fascinante belleza del firmamento, comenzó desde tiempos remotos a mirar el cielo con ojos llenos de preguntas: necesitamos mirar al cielo para saber quiénes somos.

El estudio del firmamento ha ido de la mano del desarrollo de las diferentes civilizaciones y ha sido, y continúa siendo, una importante fuente de conocimiento. Su observación fue determinante para, entre otros, el desarrollo de la navegación por mar y para precisar el inicio de la época de siembra en las sociedades agrícolas. Nos ha permitido conocer la posición de nuestro planeta en la galaxia, descubrir que compartimos composición química con las estrellas o que éstas se mueven en esa bóveda que cubre nuestras cabezas mientras que la tierra gira sobre su eje polar, ofreciéndonos, así, un majestuoso espectáculo estelar.

Cúpula del telescopio de 1,23 metros. Observatorio de Calar Alto / DOMINIQUE JOUBERT



Este espectáculo es, hoy por hoy, una fantasía para más del 80 % de la población del planeta; el 99 % de la población si vivimos en Europa o en Estados Unidos. ¿Queremos renunciar a disfrutar del impresionante paisaje de un cielo estrellado?

No podemos mirar hacia otro lado, no podemos permitir que desaparezca este paisaje indescriptible, parte fundamental de nuestro patrimonio cultural e histórico. Un paisaje común a todas las culturas del mundo, un paisaje que nos acompaña silencioso desde tiempos prehistóricos, que forma parte de nuestra vida cotidiana, de nuestras creencias, de nuestra cultura, y que es y ha sido fuente de inspiración creativa.

Vía Láctea desde el
Observatorio de Calar Alto
/ ALEJANDRO SÁNCHEZ DE MIGUEL





Salud humana

Los seres humanos también hemos evolucionado en este contexto rítmico de alternancia de luz y oscuridad que se ha visto alterado con la llegada de la luz artificial que ha inundado las 24 horas del día. Esto no es inocuo para nuestro organismo, adaptado evolutivamente al patrón de luz natural del día y la noche.

La presencia de luz artificial durante la noche tiene dos consecuencias directas e inmediatas en nuestro organismo: la alteración de nuestro reloj biológico y la supresión de la síntesis de melatonina. Estos impactos pueden, a largo plazo, traducirse en enfermedades.

Reloj biológico: Nuestro organismo posee un reloj interno que regula una serie de parámetros biológicos que no son constantes, varían en función de si es de día o de noche. Estas fluctuaciones que se repiten día tras día cada 24 horas se conocen como *ciclos circadianos*. Por ejemplo, la secreción de cortisol, esa hormona que nos hace sentir estresados, está regulada por este reloj, y es mayor por la mañana que por la noche. La secreción de melatonina o la presión arterial también responden a estas fluctuaciones día-noche.

El principal sincronizador de nuestro reloj interno es la alternancia que se produce entre la luz natural y la oscuridad en un periodo de 24 horas, señales que recibe el organismo a través de nuestros ojos. Por tanto, la excesiva exposición a la luz artificial durante la noche impide que nuestro reloj se sincronice con el entorno. Es necesario que el día sea día y la noche sea noche; de lo contrario, nuestro reloj interno no funcionará bien.

Cuando el ciclo natural luz-oscuridad se altera debido al uso abusivo de luz artificial durante la noche (ya sea por el resplandor de las pantallas de nuestros dispositivos móviles, por la intrusión lumínica o por un trabajo en turno de noche), nuestro reloj interno no se sincroniza con el externo, comienza a enviar por la



noche señales que debería enviar durante la mañana y nuestros ciclos circadianos se alteran. Este caos es lo que se conoce como *cronodisrupción*. Estudios epidemiológicos muestran una relación entre la cronodisrupción y un aumento de las alteraciones metabólicas (que incrementan el riesgo de padecer hipertensión, diabetes, obesidad y elevados niveles de colesterol en sangre), así como de enfermedades cardiovasculares, deterioro cognitivo, trastornos afectivos y envejecimiento acelerado.

Es fundamental para mantener un estado de salud adecuado que nuestro cuerpo mantenga sus ritmos circadianos ordenados.

Síntesis de melatonina: La melatonina es una hormona que se segrega en la glándula pineal o epífisis y que desempeña importantes funciones en nuestro organismo. Se encarga de transmitir el mensaje del reloj interno al resto del organismo, es un importante agente antioxidante e inhibe el crecimiento de células cancerígenas, por lo que disminuye el riesgo de aparición de tumores.

Los radicales libres, que aparecen como residuos de las reacciones de óxido-reducción a través de las cuales nuestro organismo obtiene la mayor parte de la energía que necesita, pueden dañar nuestras macromoléculas (lípidos, proteínas, hidratos de carbono y ácidos nucleicos). Estos daños pueden alterar procesos celulares claves, como la funcionalidad de las membranas, la producción de enzimas o la respiración celular, dando lugar a enfermedades como la arterioesclerosis, el envejecimiento prematuro, la hipertensión arterial y la demencia senil, entre otras. Muchas enfermedades debilitantes, como las enfermedades de



Alzheimer o de Parkinson, especialmente en ancianos, incluyen como parte de su proceso degenerativo la acumulación de daño oxidativo por radicales libres. Por eso es tan importante la capacidad antioxidante de la melatonina para neutralizar estos radicales libres tan dañinos para nosotros.

La melatonina solo se segrega durante la noche. La presencia de luz natural durante el día o artificial durante la noche suprime la síntesis de esta hormona. La capacidad de la luz artificial de inhibir la producción de melatonina la convierte en un agente contaminante muy peligroso para nuestra salud por las funciones claves de esta hormona en nuestro organismo.

Otros estudios: Investigaciones epidemiológicas asocian el trabajo continuado en turnos de noche (alta exposición a la luz artificial) con un mayor riesgo de sufrir cáncer de mama en mujeres. Otros trabajos han demostrado una correlación positiva entre la exposición a elevados niveles de luz artificial y los cánceres de mama, próstata y tiroides.

El estudio del impacto de la contaminación lumínica sobre nuestra salud no está tan avanzado como el de los efectos sobre la biodiversidad. Aunque cada vez más investigaciones científicas relacionan la contaminación lumínica con efectos adversos en nuestra salud, el volumen es aún pequeño y en la mayoría de los casos son estudios observacionales y no establecen una relación causal. Es necesario, por tanto, profundizar en este campo de investigación para poder conocer el alcance real de los efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana.

15.

Los retos de una iluminación sostenible

LA contaminación lumínica se produce por el uso de la luz artificial, por lo que las soluciones pasan por revisar nuestra forma de utilizarla. El objetivo no es apagar las ciudades, sino iluminarlas de una forma más sostenible.

Un alumbrado sostenible y respetuoso con el medioambiente, con nuestra salud, con el avance del conocimiento y con el derecho a disfrutar de un cielo oscuro ha de iluminar lo que queremos ver solo cuando sea necesario y como sea necesario. Analicemos cada una de estas premisas.

La luz que se dirige hacia el cielo aumenta el brillo artificial y derrocha energía. Las luminarias tipo globo, sin ningún tipo de pantalla, emiten luz en todas las direcciones y desaprovechan al menos el 50 % de la electricidad que consumen. Dado que, por ahora, el ser humano no realiza ninguna actividad en el cielo que requiera ese tipo de iluminación, es necesario evitar que la luz se dirija hacia el hemisferio superior, dirigiendo siempre el haz de luz hacia abajo, hacia lo que se necesita iluminar, mediante el uso de luminarias que estén apantalladas.

Además de iluminar siempre hacia abajo, hay que evitar ángulos de emisión próximos a la horizontal, ya que son los que más contribuyen a la dispersión de la luz en la atmósfera. Los ángulos menos contaminantes son los comprendidos entre 0° (correspondientes al pie de la farola) y 70°. Tratemos también de respetar la oscuridad de nuestros hogares evitando el uso de luminarias muy próximas a nuestras ventanas o que emitan en direcciones superiores a los 70°, que podrían alcanzar ventanas y balcones y provocar intrusión lumínica.

El desarrollo tecnológico ha puesto a nuestra disposición reguladores de intensidad, sensores de movimiento y temporizadores, muy útiles para el cumplimiento del segundo precepto de la iluminación sostenible: iluminar solo cuando sea necesario. El uso de estos dispositivos permite adaptar el sistema de alumbrado a los niveles de tránsito o al tipo de actividad que se desarrolle en el espacio iluminado. Además de usar estos elementos, es necesario limitar los horarios de iluminación de los monumentos, las fachadas de edificios, los carteles publicitarios, etc.



de nuestras ciudades es la que más cantidad de radiación azul contiene. Este tipo de luz es la que más ilumina el cielo nocturno y causa un gran impacto en las observaciones astronómicas, y es la más peligrosa para nuestra salud y para el equilibrio de los ecosistemas. Además, esta luz blanca rica en azul es la que más problemas de deslumbramiento produce, causando graves incidentes de seguridad vial para peatones y conductores.

¿Son las lámparas led la solución a la contaminación lumínica?

La tecnología led experimentó un gran avance a partir de la segunda década del siglo XXI y ha comenzado a desbancar a las tradicionales lámparas de vapor de sodio de alta y baja presión y a los halogenuros metálicos. Actualmente estamos asistiendo a una transición gradual en el alumbrado público hacia la iluminación led, que será la fuente de luz mayoritaria en el año 2030, aunque el porcentaje de alumbrado público de este tipo variará según el país, la región y las políticas locales.

Las lámparas led se plantearon como la solución frente al despilfarro energético del alumbrado público. Sin embargo, la creencia extendida de que estos tipos de luces ahorran mucha energía tiene sus matices. En el alumbrado público solo nos encontramos una eficiencia energética muy elevada si utilizamos ledes que emitan luz blanca, tremendamente contaminante para nuestros ecosistemas y con impactos probados en nuestra salud. Por tanto, se hizo necesario fabricarlos para que emitieran luz más cálida.

La eficiencia energética de las lámparas led que emiten luces más cálidas y, por tanto, menos contaminantes, no es mucho mayor que la de las de sodio que ya teníamos en nuestras calles: la eficiencia energética de una lámpara de vapor de sodio de alta presión está en torno a 100 y 120 lúmenes por vatio, casi la misma que la de una lámpara led del mismo color (ámbar). El gasto energético y la emisión de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera es también muy similar.



Efecto rebote del uso de la tecnología led: El ahorro energético que ha supuesto la instalación masiva de iluminación led blanca ha provocado que con el mismo gasto en la factura eléctrica los ayuntamientos hayan podido multiplicar el número de puntos de luz o mantener más tiempo encendidas las que ya tenían. Este efecto rebote ha supuesto una sobreiluminación por encima de las necesidades reales, con el consecuente aumento del nivel de contaminación lumínica. Las lámparas led también poseen otros inconvenientes ambientales, pues requieren de más materias primas durante su proceso de fabricación y contienen elevadas concentraciones de metales, lo que hace clasificar sus desechos como peligrosos.

Ventajas del uso de la iluminación led: Lo que no podemos obviar son las ventajas que nos ofrece esta tecnología. Una de ellas es que nos permite escoger el color de la luz que emiten; los diodos semiconductores pueden combinarse y filtrar su luz de modo que, a diferencia de otro tipo de lámparas, podemos obtener espectros de emisión y temperaturas de color a la carta que se adapten a diferentes necesidades. Es el caso de los led PC-ámbar, que tienen emisiones muy bajas de luz azul (por debajo de los 500 nm). Otras ventajas son, por ejemplo, su capacidad de encendido instantánea, que permite que las luces puedan apagarse y encenderse alcanzando rápidamente su nivel de máximo brillo; la direccionalidad de la luz, lo que favorece dirigir mejor el haz luminoso hacia lo que se pretende iluminar; y, por último, la posibilidad de regular su intensidad, pudiendo, así, reducir la cantidad de luz al mínimo cuando la calle esté desierta.

Para que estas ventajas se traduzcan en una forma de iluminación más sostenible, se requiere que la instalación de lámparas led vaya acompañada del diseño de un sistema digital que ayude a aplicarlas y de un plan que evalúe la necesidad real de luz en cada espacio en función del momento del día y de la actividad; pero, sobre todo, de inteligencia y conciencia ambiental.

Leyes y normas

La normativa existente en nuestro país está orientada fundamentalmente a limitar el tipo de lámpara que se usa para así minimizar las longitudes de onda más perjudiciales, controlar los niveles de iluminación (lux), limitar el horario para evitar el despilfarro energético y evitar el flujo luminoso al hemisferio superior, que tanto contribuye al aumento de la contaminación lumínica en varias de sus facetas (brillo del cielo e intrusión lumínica). ¿Se podría dar un paso más allá? Por supuesto que sí.

Cuando nos referimos a otros agentes contaminantes como, por ejemplo, el ruido o el CO₂, la normativa vigente siempre establece limitaciones en el nivel de emisión del agente contaminante en cuestión. Tenemos muy asumido que el límite máximo de sonido emitido por una fuente no puede ser mayor a 55 decibelios (dB) entre las 6:00 a. m. y las 22:00 p. m., o que las emisiones de CO₂ deberán reducirse en un 35 % para el año 2030. Sin embargo, cuando el agente contaminante es la luz artificial no existen unos niveles máximos admisibles recogidos en ninguna ley que limite tanto las radiaciones contaminantes como el flujo luminoso. Se requiere un consenso internacional, en el que se impliquen los Gobiernos y la comunidad científica, que establezca límites en los niveles de contaminación lumínica y estandarice una metodología y un conjunto de parámetros para medir estos niveles.

Un correcto desarrollo normativo es una de las soluciones al problema de la contaminación lumínica. Pero debe ser algo más que un conjunto de obligaciones y de limitaciones. Una normativa adecuada es el resultado de un compromiso político y científico.



Italia y Francia son los países europeos que cuentan con las leyes de protección del cielo oscuro más avanzadas del mundo. En nuestro país la situación es diferente. Aún no tenemos una ley estatal de contaminación lumínica, aunque estamos en camino. A finales de 2021 se sometió a exposición pública el borrador del decreto ley sobre contaminación lumínica. La comunidad científica ha pedido que se consideren los resultados de investigaciones sobre los efectos de la contaminación lumínica en el medioambiente y la salud, así como las recomendaciones de organizaciones como UNESCO, ONU (COPUOS y UNOOSA), IAU y Dark Sky, en la redacción del documento final de este futuro decreto.

En nuestro país, el desarrollo normativo en materia de contaminación lumínica se ha producido de abajo arriba, destacando especialmente el esfuerzo legislativo de comunidades autónomas como Canarias y Cataluña.

Y muy importante: no olvidemos que cuando hablamos de problemas ambientales, la legislación de un país es el reflejo de la conciencia y del compromiso social que tienen sus habitantes. Cuanto mayor sea esta, mayor será la presión que se ejerce a nivel político y legislativo. Por eso, aumentar la conciencia social y sensibilizar a la población sobre la existencia de este problema ambiental es condición indispensable para hacer frente a la contaminación lumínica.



16.

Otras amenazas

LA contaminación lumínica no es una amenaza aislada. El cambio climático, la sequía, la sobreexplotación de los recursos, la deforestación, la contaminación por plásticos o el uso de contaminantes químicos, entre otros, conforman un amplio abanico de factores que amenazan los ecosistemas naturales y nuestra salud.

Por su parte, el cielo, considerado tanto un espacio clave para la ciencia y el avance del conocimiento como un recurso patrimonial único para la humanidad, no solo se enfrenta a la amenaza de la contaminación lumínica. Las megaconstelaciones de satélites artificiales en órbita terrestre baja, su reentrada en la atmósfera o la contaminación radioeléctrica, en aumento por la proliferación de dispositivos que emiten artificialmente longitudes de onda de radio, son otras amenazas que están poniendo en peligro un recurso que ha inspirado a la humanidad desde hace milenios y que ha sido y es clave para la ciencia moderna.

El desafío no consiste en caracterizar y cuantificar los efectos de estos riesgos individualmente. El reto radica en estudiar el impacto acumulado del conjunto de amenazas que pueden interactuar entre sí agravando sus efectos.



Representación 3D de la red de comunicación global alrededor del planeta Tierra en el espacio. Elementos de esta imagen proporcionada por la NASA / ADOBE STOCK

dos



**¿Cómo hace
frente el CSIC a
la contaminación
lumínica?**



LA investigación científica relacionada con la contaminación lumínica se encuentra en una fase inicial, por lo que nos encontramos en un momento crucial para el avance del conocimiento sobre esta amenaza ambiental.

Durante la última década, el CSIC ha mostrado un claro compromiso frente a la contaminación lumínica. Un compromiso que se pone de manifiesto a través de la puesta en marcha de distintas líneas de investigación y de otras iniciativas de gran impacto social.

Como ejemplos, podemos destacar la participación del CSIC en estudios pioneros que analizan la evolución y los efectos de la contaminación lumínica y que mostraron, en 2017 y 2018 respectivamente, que las superficies iluminadas en el planeta crecen de media más de un 2 % al año, a pesar de la introducción de sistemas de iluminación más eficientes energéticamente, y que la exposición a la luz azul durante la noche produce un mayor riesgo de padecer cánceres de mama y de próstata.

Otra iniciativa ha sido la puesta en marcha en 2015 de la Oficina de Calidad del Cielo (OCC), del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA, CSIC), que supone una apuesta estructural clave por un medio libre de contaminación lumínica. La actividad de esta oficina, cuyo objetivo inicial era proteger la calidad del cielo de sus observatorios astronómicos, va hoy más allá, de modo que se ha convertido en un referente científico de las instituciones públicas para hacer frente a este tipo de polución y en un actor clave en la formación y concienciación social sobre esta problemática.



El CSIC seguirá reforzando esta línea de trabajo para ayudar a hacer de nuestro país un referente en el avance del conocimiento sobre la caracterización y cuantificación de esta amenaza, y un modelo en el desarrollo de políticas públicas y de estrategias de concienciación social que minimicen este grave problema ambiental.

El CSIC se convierte, así, en puente natural entre la comunidad científica y los gestores gubernamentales, para contribuir en la definición de políticas públicas (basadas en el conocimiento científico) que hagan frente a la contaminación lumínica.

En las siguientes páginas se analizan detalladamente las diferentes líneas de investigación e iniciativas puestas en marcha desde el CSIC para contrarrestar la contaminación lumínica. Los principales ámbitos en los que impacta esta amenaza se han estructurado en cuatro bloques o ámbitos: medioambiental, astronómico, de la salud y social.



Contaminación lumínica provocada por distintos tipos de fuentes de luz. / JOSE JIMÉNEZ



2.1.

Ámbito medioambiental

COMO señalamos al comienzo de este informe, la intensidad de la luz no natural y la superficie iluminada artificialmente del planeta no ha hecho más que aumentar en las últimas décadas; y la previsión es que esta tendencia siga en aumento en el futuro. Por tanto, lejos de poder considerarse como un impacto local y aislado, la contaminación lumínica se ha convertido en un problema ambiental global y la luz artificial, en un agente contaminante similar a otros estresores de nuestro entorno, como el incremento de temperatura del planeta, la acidificación de los océanos o la subida del nivel del mar. Cada vez más poblaciones, especies, comunidades y ecosistemas naturales están sometidos a los efectos nocivos de la luz artificial.

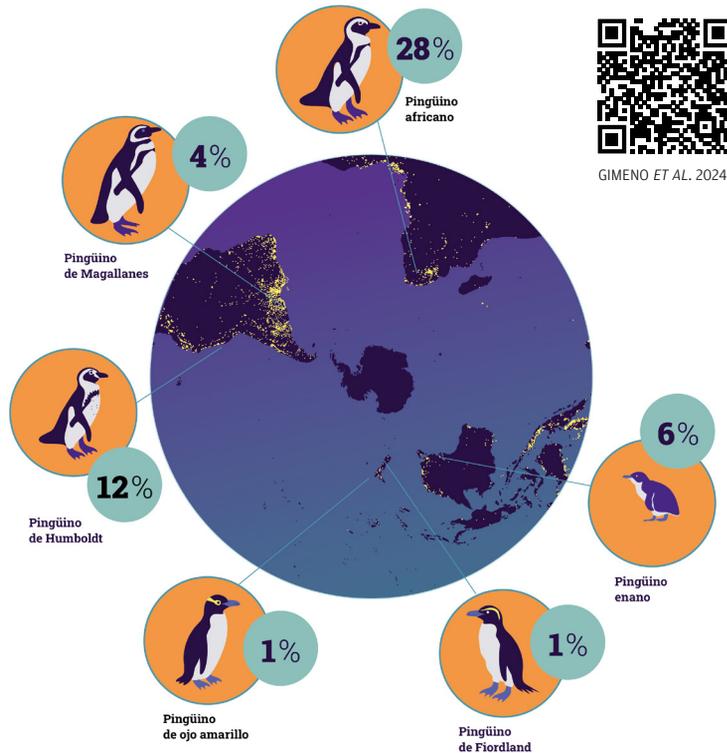
Grado de exposición de las especies a la luz artificial

El CSIC ha participado en la cuantificación del grado de exposición a la luz artificial y a otros procesos antrópicos generadores de luz artificial (como por ejemplo el desarrollo urbanístico) de especies ampliamente distribuidas, singulares y, a menudo, amenazadas, como los pingüinos. Pocas especies de pingüinos están libres de la contaminación lumínica, solo aquellas especies que habitan los ecosistemas remotos e inhabitados de la Antártida (salvo por las bases de investigación y el creciente turismo antártico). El resto de especies de pingüinos están expuestas, en mayor o menor grado, a la luz artificial y a sus efectos perniciosos.

Evaluar el grado de exposición de una determinada especie a una amenaza como la contaminación lumínica requiere un conocimiento profundo de los patrones espaciales y temporales de distribución de la misma. Las especies no se encuentran repartidas de forma homogénea en el espacio, cada una de ellas ocupa hábitats y regiones específicas del planeta. Además, muchas especies varían su ubicación espacial a lo largo del ciclo anual, como es el caso de las especies migradoras.



Gráfico 7 Grado de solapamiento entre la distribución de pingüinos y la distribución de áreas urbanas altamente iluminadas (MODIFICADO DE GIMENO ET AL., 2024)



GIMENO ET AL. 2024

ELABORACIÓN PROPIA

De forma similar, el nivel de contaminación lumínica y, por tanto, sus efectos también varían espacial y temporalmente. Existen regiones del planeta que se hallan más afectadas por la contaminación lumínica que otras. En líneas generales, las regiones más desarrolladas económicamente, con mayores tasas de crecimiento, presentan niveles de uso e intensidad de la luz artificial muy superiores a otras zonas más empobrecidas. Además, en una misma región del planeta, factores sociales y culturales pueden llegar a alterar los patrones de contaminación lumínica, como veremos más adelante en detalle.

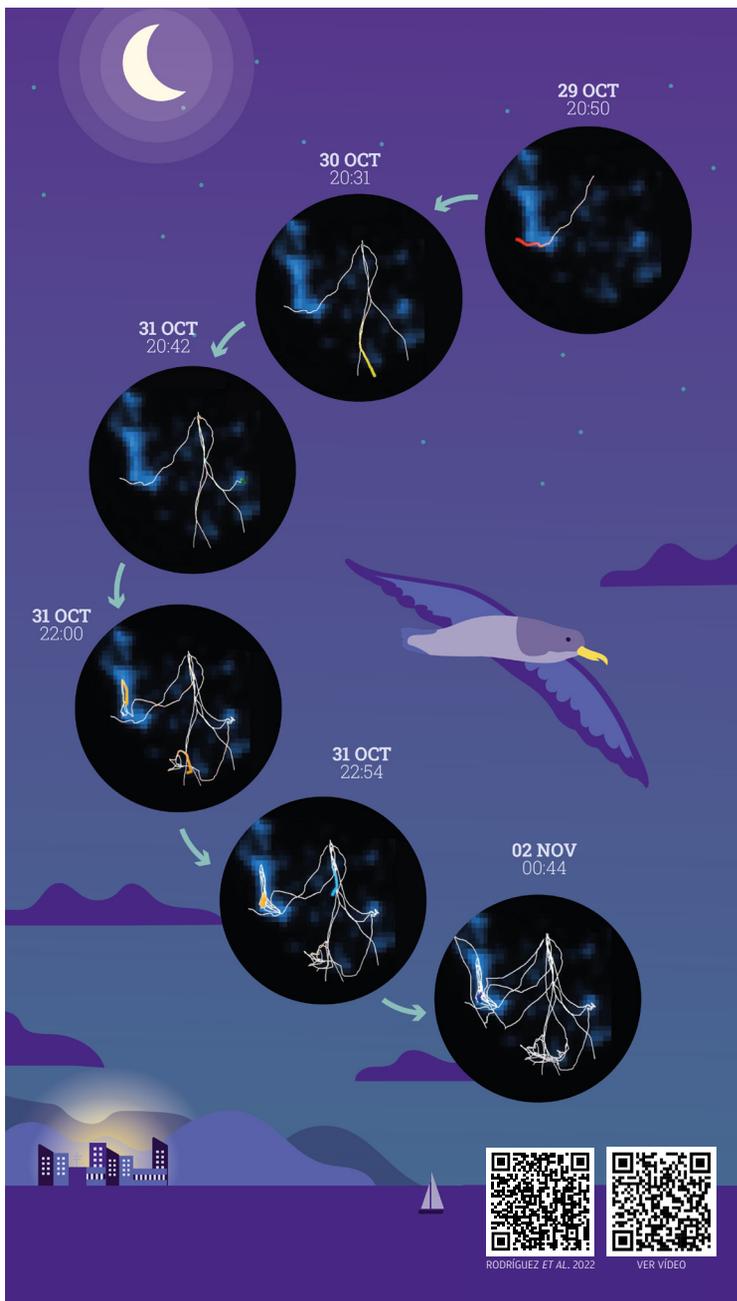
Teniendo esto en cuenta, si queremos llegar a determinar el grado de solapamiento y la amenaza potencial de la contaminación lumínica, necesitamos trabajar en el desarrollo de métodos eficaces que permitan evaluar y monitorizar los patrones espaciales y temporales que determinen la distribución tanto de las especies como de los niveles de iluminación artificial.

En este sentido, el CSIC es pionero en el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías para el seguimiento de especies en su medio natural que nos permitan evaluar el grado de exposición y las respuestas de estas especies frente a la contaminación lumínica. Las metodologías clásicas, como las observaciones directas en el campo, pueden presentar grandes limitaciones a la hora de hacer un seguimiento exhaustivo de los individuos y sus respuestas frente a la luz artificial. Además, su aplicación en zonas remotas e inaccesibles es complicada y, en ocasiones, imposible. Por esta razón, en el CSIC se está promoviendo el desarrollo y empleo de marcas electrónicas miniaturizadas que se colocan directamente sobre los organismos. Estas marcas proporcionan información directa, y a menudo en tiempo real, sobre el movimiento, comportamiento e incluso el estado fisiológico del individuo con una mínima interferencia.

Algunos de estos dispositivos también pueden incluir instrumentos de medición de las condiciones ambientales a las que se enfrentan los individuos marcados, como por ejemplo la intensidad de luz artificial, lo que convierte a estos animales en auténticos laboratorios móviles. Estas aproximaciones y tecnologías representan un avance significativo en la manera en que el CSIC estudia la amenaza que la contaminación lumínica supone para la biodiversidad; que es un requisito fundamental a la hora de formular soluciones eficaces para frenar este problema creciente.

Mortalidad masiva de especies inducida por la contaminación lumínica

La contaminación lumínica provoca una gran variedad de impactos en los seres vivos que pueden llegar incluso a provocar una mortalidad masiva. Son eventos donde un gran número de ejemplares mueren en un corto periodo de tiempo. Determinadas especies, como pequeños insectos, aves y tortugas marinas,



Los dispositivos GPS con descarga remota han permitido monitorizar los vuelos de las pardelas cenicientas desde sus lugares de cría hasta las zonas iluminadas en la isla de Tenerife, Canarias. Esta ilustración muestra los vuelos realizados por ocho pardelas (líneas blancas) hasta los lugares contaminados lumínicamente (zonas azuladas, tonos más azulados corresponden a zonas más contaminadas) en seis momentos puntuales. El código QR permite la visualización de una animación tomada de Rodríguez *et al.*, (2022) (disponible en www.youtube.com/watch?v=FOCLSeUyRcE).



Pollo de pardela cenicienta deslumbrado y forzado a aterrizar por la contaminación lumínica en la isla de Tenerife, Canarias. / BENEHARO RODRÍGUEZ

entre otras, sienten una fuerte atracción por las luces artificiales, lo que las lleva a desorientarse en determinadas fases de su ciclo vital. Esto provoca que muchos individuos mueran, ya sea por colisiones fatales con estructuras humanas o con el suelo, o porque los entornos iluminados resultan inhóspitos para ellos, dejándolos vulnerables a otras amenazas, como la depredación por mascotas o especies invasoras, atropellos o caídas en lugares de los que no pueden escapar, como alcantarillas o desagües.

Un ejemplo representativo de mortalidad masiva relacionado con la contaminación lumínica, ampliamente investigado por el CSIC, es el de las pardelas. La pardela es un tipo de ave marina que incluye especies muy amenazadas, como la pardela balear o la pardela pichoneta canaria. Las pardelas sobrevuelan el Mediterráneo y el Atlántico sin posarse en tierra durante meses, salvo cuando es la época de cría, para la cual se desplazan a las islas Baleares o Canarias, entre otras.

Las especies que pasan la mayor parte de su vida sobrevolando mares y océanos son tremendamente vulnerables en tierra firme. Ante esto, la pardela ha desarrollado sus propios mecanismos de protección: solo salen y entran de sus nidos durante la noche, a pesar de ser aves diurnas. Es aquí donde comienza el problema. Los pollos de pardela, menos experimentados que los adultos, son atraídos y deslumbrados por las luces artificiales durante su primer viaje hacia el mar. Como resultado, un gran número de estos pollos colisionan con las zonas urbanas altamente iluminadas provocando mortalidades masivas directas (debido a la propia colisión) o indirectas (como consecuencia de los atropellos o la depredación).

Para reducir la mortalidad, cada año se organizan campañas de rescate coordinadas por los gobiernos regionales y locales, que cuentan con una fuerte implicación de organizaciones no gubernamentales y colectivos sociales. En dichas campañas, se solicita ayuda a la ciudadanía para que reporte el hallazgo de pollos deslumbrados a las organizaciones para que estas acudan al rescate y puedan darles, así, una segunda oportunidad. La magnitud del impacto para algunas especies, como la pardela cenicienta que cría en Tenerife, se pone de relevancia por el hecho de que anualmente se rescatan más de 3500 ejemplares que, de otra for-



ma, acabarían muriendo. Pero esto no es más que la punta del iceberg. Se tiene constancia de que estos programas de rescate ciudadano atienden a alrededor del 60 % de las aves que colisionan a causa de la contaminación lumínica. El número total de aves afectadas se estima, por tanto, en torno a los 5000 ejemplares anuales solo en la isla de Tenerife.

El CSIC investiga para minimizar los impactos

Si apagáramos las fuentes de luz artificial, los efectos perjudiciales sobre la biodiversidad de la contaminación lumínica desaparecerían de un plumazo. Sin embargo, todos somos conscientes de que esta no es una opción factible. Por múltiples razones: hábitos sociales nocturnos, actividad económica, presión social, seguridad, etc. Si no podemos apagar las luces, debemos minimizar los impactos que la contaminación lumínica provoca sobre los seres vivos.

Los impactos de la contaminación lumínica sobre la biodiversidad pueden reducirse interviniendo en cuatro aspectos relacionados con el agente contaminante: la intensidad, el color de la luz artificial, los lugares y direcciones en los que se emite (componente espacial), el momento del día y la duración de las emisiones (componente temporal).

El CSIC está investigando en torno a estos cuatro aspectos con el objetivo de obtener conocimientos fundamentales para mitigar los impactos ecológicos de la contaminación lumínica.

Intensidad

Las pardelas cenicientas, al igual que otras aves marinas, visitan sus colonias durante la noche para atender las tareas reproductivas (incubación, cuidado parental y alimentación de los pollos). Los murciélagos, por su parte, se alimentan durante la noche y es bien conocido que algunas especies pueden beneficiarse por la atracción de insectos a la iluminación artificial, mientras que otras especies evitan las zonas iluminadas. Actualmente el CSIC lleva a cabo estudios sobre el impacto de la intensidad de la luz artificial en los vuelos de visita a la colonia de individuos reproductores de pardela cenicienta, así como en la actividad

de alimentación de la comunidad de murciélagos. Para ello emplea nuevas tecnologías para el seguimiento remoto de las aves mediante marcas electrónicas miniaturizadas y grabadoras de audio automáticas, mientras ilumina de forma experimental las inmediaciones de la colonia.

Gráfico 8 La luz artificial posee cuatro características físicas cruciales para comprender y reducir su impacto en la biodiversidad (MODIFICADO DE HIRT ET AL., 2023)



ELABORACIÓN PROPIA

Los resultados de estos trabajos se están empleando para evaluar el efecto de la aplicación de la Ley del Cielo de Canarias en la protección de estos ecosistemas. Esta ley, pionera en materia de contaminación lumínica, se desarrolló inicialmente para proteger los cielos nocturnos y garantizar la actividad astronómica de los observatorios canarios, pero puede contribuir también a la conservación de los ecosistemas.

Además, el CSIC participa en diferentes proyectos europeos, como AquaPLAN y GES4SEAS, que buscan identificar el rol que juega la intensidad de la luz en la interacción entre las orcas, las aves marinas y las pesquerías industriales.



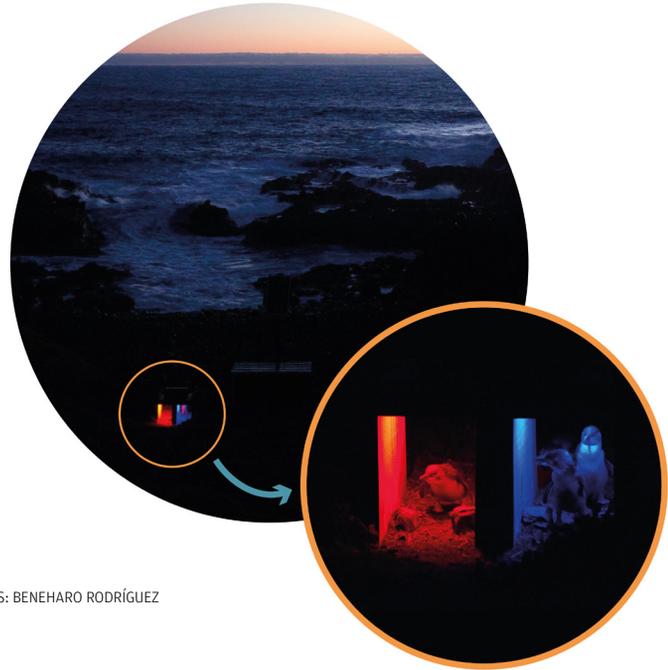
Contaminación lumínica provocada por las urbanizaciones costeras en la costa de Tenerife. / BENEHARO RODRÍGUEZ

Color de la luz

El CSIC ha investigado la sensibilidad de los organismos a diferentes longitudes de onda de la luz emitida por fuentes artificiales. Se ha observado que, en general, los organismos son más sensibles a las longitudes de onda corta, como la luz azul. Este hallazgo ha permitido diseñar sistemas de iluminación que minimizan las perturbaciones para los organismos en cuestión. Sin embargo, las características específicas de los ambientes donde viven los organismos pueden influir en esta sensibilidad de manera individualizada. Por lo tanto, se debe estudiar y considerar específicamente la respuesta a diferentes colores de luz, teniendo en cuenta la edad y el ciclo vital de los individuos.

El CSIC ha sido pionero en estudiar experimentalmente las respuestas ante diferentes colores de luz de organismos marinos, como las tortugas, los pingüinos y las pardelas. Mientras que algunos muestran efectos adversos con luces más azuladas, otros se benefician de ellas, como parece ser el caso de los pingüinos enanos (gráfico 10).

Gráfico 9 Pingüinos enanos cruzando bajo el túnel experimental con luz roja y azul en Phillip Island, Victoria, Australia



FOTOS: BENEHARO RODRÍGUEZ

Componente temporal

Limitar la duración de la iluminación artificial en nuestros pueblos y ciudades es otra estrategia para reducir la contaminación lumínica. Por ejemplo, a partir de cierta hora, cuando la mayoría de las personas están descansando, se podrían apagar parte de las fuentes de luz o reducir la intensidad de las mismas. Sin embargo, esta medida puede generar conflictos con las actividades de numerosos organismos nocturnos, ya que sus actividades se superponen con nuestras actividades durante las primeras horas de la noche. Un ejemplo son los pollos de aves marinas, que comienzan su primer vuelo durante al anochecer, justamente cuando las personas hacen mayor uso de la iluminación artificial y, por consiguiente, cuando se alcanzan los niveles más altos de contaminación lumínica.



Componente espacial

El diseño de las luminarias (que condiciona el ángulo de emisión de la luz artificial) y la distribución de las mismas, va a determinar el mayor o menor grado de dispersión de la luz artificial en el entorno y, por ende, la propagación de la contaminación lumínica.

El CSIC está investigando el efecto de atracción que sufren las aves marinas que nacen en colonias próximas a áreas altamente iluminadas. Se ha observado que la contaminación lumínica proveniente de zonas costeras tiene una influencia significativa en estos individuos y puede causar eventos de mortalidad masiva en algunas especies muy amenazadas.

Efectos en cascada

El CSIC investiga los efectos en cascada de la contaminación lumínica en diferentes organismos, tanto en entornos terrestres como marinos. Un estudio pionero describió cómo ciertas especies diurnas extienden su período de actividad hasta bien entrada la noche debido a los altos niveles de contaminación lumínica. Un ejemplo es el del cernícalo primilla, que anida en áreas urbanas y se beneficia de los invertebrados atraídos por las fuentes de iluminación para cazarlos y alimentarse. Este fenómeno podemos observarlo en la Giralda de Sevilla.

Este fenómeno ocurre también en otras especies nocturnas, como la salamanguera común o la lechucita de las vizcacheras, que aprovechan la atracción de los invertebrados alrededor de las lámparas para maximizar su eficiencia de caza.

Mientras que la iluminación artificial puede proporcionar ciertos beneficios a corto plazo para especies como el cernícalo primilla, para los invertebrados atraídos por la luz artificial, principalmente escarabajos y polillas, representa un desafío poblacional significativo. Estos invertebrados desvían su atención hacia la luz artificial, descuidando funciones vitales, como la reproducción, o servicios ecosistémicos fundamentales, como la polinización, esenciales para la biodiversidad y la vida humana. Esta atracción fatal hacia las fuentes de luz artificial reduce su eficacia biológica y también afecta la de otros organismos con los que han coevo-



Los cernícalos primilla extienden su actividad de caza a horas nocturnas para aprovechar la acumulación de invertebrados atraídos por la iluminación ornamental. Se ilustra la Giralda de Sevilla, lugar donde se documentó por primera vez este comportamiento.



Congregación de al menos 20 salamanguetas comunes para depredar sobre los insectos atraídos a un único punto de luz. Nótese que la luminaria es bastante contaminante pues emite gran parte del flujo luminoso hacia el hemisferio superior. / MIGUEL DE FELIPE TORO



La lechucita vizcachera utiliza las lámparas para alimentarse de los invertebrados atraídos por la luz artificial. / RUTH MARTÍNEZ

lucionado, como, por ejemplo, las plantas que podrían haber sido polinizadas por ellos. En los casos más extremos, los invertebrados atraídos son presa directa de depredadores, lo que agrava la desaparición masiva de invertebrados que estamos enfrentando.

Pero no todo es negativo para ellos. En ocasiones, la iluminación puede beneficiar a ciertos invertebrados frente a los vertebrados. Esta es una de las conclusiones de un estudio del CSIC donde se puso de manifiesto que la iluminación experimental beneficiaba a los cangrejos frente a las tortugas marinas. La densidad de cangrejos fantasma se incrementó en las zonas más iluminadas, lo que provocó una mayor depredación de nidos de crías de tortugas marinas en su camino hacia el mar tras la eclosión de los huevos.

Los efectos en cascada de la contaminación lumínica también son estudiados en ambientes marinos, donde se investiga la interacción entre especies marinas, como peces, aves y cetáceos, y ciertos métodos de pesca industrial. De hecho, la luz artificial es el principal cebo de pesca que utilizan los barcos cerqueros para atraer a la superficie y capturar pequeños peces pelágicos, como



la sardina o el boquerón. La luz y la concentración de bancos de peces en aguas superficiales produce las condiciones ideales para que todo tipo de especies marinas (desde aves a cetáceos, pasando por grandes peces pelágicos como los atunes y los peces espada) se alimenten. Como resultado, algunas de estas especies han modificado totalmente sus patrones de actividad y ritmos diarios para aprovechar esta fuente de alimentación abundante y predecible. Sin embargo, los beneficios a corto plazo para estos depredadores se pueden convertir en una auténtica trampa ecológica frente a determinadas políticas que regulen la actividad pesquera; incluidas aquellas dirigidas a fomentar una pesca más sostenible.



Ejemplo de efecto en cascada en el medio marino estudiado por el CSIC. Las pesquerías industriales utilizan luz para atraer a los pequeños peces pelágicos a sus artes de pesca. Otros depredadores acuden atraídos por la acumulación de presas cuya captura está facilitada por el uso de la iluminación.

2.2.

Ámbito astronómico



La investigación astronómica requiere como condición indispensable un cielo oscuro por lo que la contaminación lumínica es un desafío para la astronomía mundial. El crecimiento y desarrollo de las ciudades provocado por el éxodo rural de los años sesenta y el consecuente aumento de la iluminación de las zonas urbanas comprometieron la actividad científica de los observatorios, nuestras ventanas al universo. Muchos de ellos tuvieron que ser trasladados de sus ubicaciones de origen, como fue el caso del Real Observatorio de Greenwich.

Han transcurrido más de sesenta años desde la primera alerta de la comunidad astronómica internacional y, en lugar de desaparecer, el problema de la contaminación lumínica sigue en aumento. Los astrónomos no solo fueron los primeros en advertir sobre esta amenaza, también han estado desarrollando técnicas y herramientas astronómicas en las últimas décadas para hacer frente a este problema.



Observatorio de
Calar Alto / SANTOS
PEDRAZ

El CSIC es reconocido como un referente en astrofísica y ciencias del espacio, y cuenta con dos observatorios astronómicos destacados: el Centro Astronómico Hispano en Andalucía (CAHA), también conocido como *Observatorio de Calar Alto*, y el Observatorio de Sierra Nevada (OSN).

El Observatorio de Calar Alto está ubicado en la sierra de los Filabres, a una altitud de aproximadamente 2168 metros sobre el nivel del mar. Este observatorio es de indiscutible relevancia internacional y es conocido por ser una infraestructura científico y técnica singular (ICTS) de vanguardia, además de por su ubicación estratégica y su significativa contribución a la investigación astronómica internacional. Alberga una variedad de telescopios de última generación, entre los que destacan el telescopio 3,5 metros, el telescopio 2,2 metros y otros telescopios más pequeños especializados en objetivos específicos. El gran número de descubrimientos de impacto realizados cada año (más de cien), las



Observatorio de Sierra Nevada / JOSE ANTONIO RUÍZ BUENO

alianzas con programas espaciales de la NASA y la Agencia Espacial Europea (ESA), el impulso a empresas de base tecnológica regionales y nacionales mediante nuevos desarrollos en campos como la óptica, la informática, la electrónica y la mecánica, la formación de nuevos doctores en astrofísica y el fomento del astroturismo, convierten al CAHA en un pilar fundamental para la astrofísica y en un agente tractor para la economía del país. La protección de sus cielos es obligada, por tanto, para no perder la posición de liderazgo que España ostenta en el ámbito de la astronomía y astrofísica desde hace décadas.

Por otro lado, el Observatorio de Sierra Nevada se encuentra en un entorno excepcional, dominado por el Parque Nacional de Sierra Nevada, a una altitud de 2896 metros sobre el nivel del mar, lo que lo convierte en uno de los observatorios más altos de Europa. Esta ubicación privilegiada del OSN ha permitido llevar a cabo investigaciones astronómicas en unas condiciones atmosféricas excepcionales.

Ambos observatorios se ubican en sitios remotos de alta montaña, pero cada día es mayor la amenaza que supone la contaminación lumínica para su correcto funcionamiento. La luz artificial emitida en las aglomeraciones urbanas puede alcanzar un



observatorio situado a más de 300 kilómetros. De continuar la tendencia actual, el futuro de estos observatorios estará comprometido en menos de dos décadas.

Imagen tomada en las proximidades del Observatorio de Sierra Nevada / JOSE ANTONIO RUÍZ BUENO

Los observatorios astronómicos terrestres continúan siendo vitales para realizar descubrimientos de alto impacto en astrofísica y física fundamental. Es importante tener en cuenta que las observaciones desde estas instalaciones terrestres complementan a los telescopios espaciales, mucho más costosos.

La preocupación creciente por la amenaza que supone la contaminación lumínica para la actividad científica que se lleva a cabo en los observatorios ha llevado al CSIC a desarrollar dos líneas fundamentales de trabajo: la monitorización del brillo artificial del cielo y una metodología para evaluar la calidad del cielo nocturno.

Monitorización del brillo artificial del cielo

El CSIC ha instalado diversos instrumentos en sus observatorios astronómicos para monitorizar de manera continua la contaminación lumínica mediante la medición y el análisis de varios parámetros como, por ejemplo, el brillo artificial del cielo, la turbulencia o la extinción.

En el Observatorio de Sierra Nevada se ha implementado un fotómetro multicolor TESS-4C para la medida y seguimiento del brillo artificial del cielo nocturno. Este instrumento está equipado con filtros GRB que permiten comparar las medidas obtenidas con las de otros instrumentos que realizan un seguimiento continuo del cielo en varias bandas fotométricas.

Además, en el OSN, el CSIC ha instalado dispositivos SQMS (*sky quality meters*), aparatos de fácil manejo que incluyen un fotómetro que permite medir directamente el brillo del cielo en magnitudes por segundo de arco al cuadrado.

En los últimos años ha habido un importante desarrollo de instrumentación astronómica orientada a la monitorización de la contaminación lumínica, en particular a la caracterización de la manifestación que más impacta en los observatorios, el nivel del brillo artificial del cielo. Entre estos desarrollos cabe destacar el instrumento ASTMON (*all sky transmission monitor*), un dispositivo desarrollado por el CSIC que permite realizar un seguimiento continuo del brillo del cielo nocturno, abarcando toda la superficie y en diferentes intervalos del espectro electromagnético mediante las mismas técnicas fotométricas que la astrofísica moderna. Actualmente tres equipos monitorizan la contaminación lumínica en el Observatorio de Calar Alto, en el Observatorio de Sierra Nevada y en el Parque Nacional de Doñana.

Metodología para evaluar la calidad del cielo nocturno

A finales de 2022, el CSIC llevó a cabo un amplio estudio sobre la calidad del cielo nocturno en el territorio del Geoparque Mundial de la UNESCO de Granada. Este trabajo ha permitido desarrollar una nueva metodología para la caracterización de la calidad del cielo nocturno de grandes áreas. Esta técnica combina el análisis de medidas registradas desde tierra junto con el de las imágenes tomadas desde el espacio. Una metodología que convierte al CSIC en un referente a la vanguardia en el estudio y seguimiento de la contaminación lumínica.



Trabajos de caracterización de la calidad del cielo en el Geoparque de Granada. / MÁXIMO BUSTAMANTE-CALABRIA

2.3.

Ámbito social

La contaminación lumínica es un problema ambiental con un enorme componente social. El uso abusivo de la luz no se percibe como una amenaza, sino como una señal inequívoca de bienestar y de nivel de progreso. La contaminación lumínica es una marca inconfundible de la actividad humana en la Tierra. Por ello, comprender cómo las actividades humanas influyen en ella es clave para evaluar su impacto y diseñar posibles medidas de mitigación, que deberán pasar por acciones de concienciación.

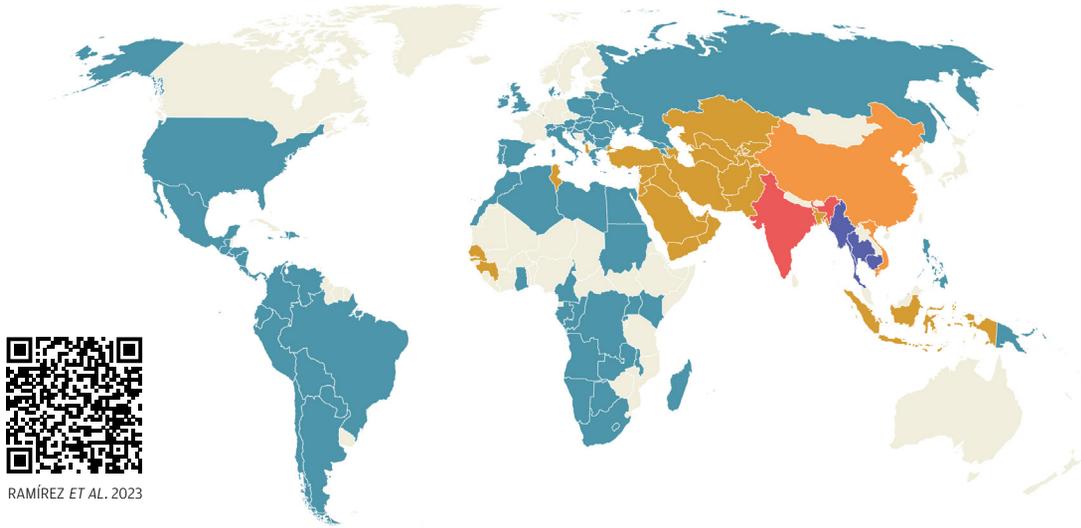
En 2023, el CSIC llevó a cabo una investigación que puso de manifiesto cómo las grandes festividades de las diferentes sociedades humanas modulan los patrones de contaminación lumínica a escala global. La Navidad cristiana, el Ramadán musulmán, el Año Nuevo chino o el Diwali hindú provocan que la intensidad de la contaminación lumínica aumente durante sus celebraciones.

Trabajos anteriores habían relacionado el desarrollo económico de los países con sus patrones de contaminación lumínica, determinando que, en general, son los más ricos los que más contaminan. Sin embargo, esta es la primera vez que se evalúa cómo determinadas actividades socioculturales afectan a los niveles de contaminación lumínica a escala global.

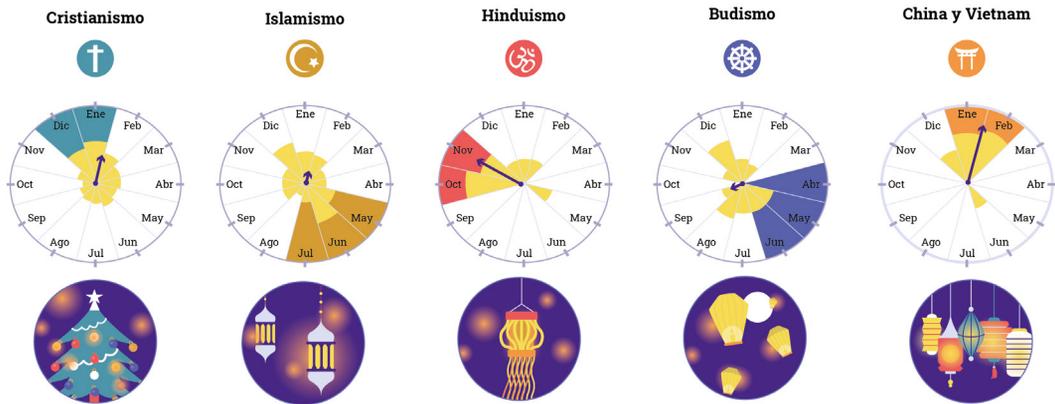
Para la elaboración del trabajo, el equipo recopiló y analizó los datos de intensidad de la luz obtenidos entre 2014 y 2019 a partir de las imágenes tomadas por el sensor VIIRS-DNB (Visible Infrarrojo Imaging Radiometer Suite Day-Night Band), que orbita nuestro planeta a bordo del satélite Suomi NPP. Los resultados mostraron que festividades y celebraciones que implican grandes concentraciones de personas y el uso de iluminación nocturna afectan al patrón estacional de intensidad lumínica.



Gráfico 10 Efecto de las grandes festividades en los patrones de contaminación lumínica a escala global (TOMADO DE RAMÍREZ ET AL., 2023)



RAMÍREZ ET AL. 2023



ELABORACIÓN PROPIA



Es importante tener en cuenta que las variaciones observadas en los niveles de luz contaminante proveniente de estas fiestas podrían ser mayores. El sensor VIIRS-DNB carece de sensibilidad espectral por debajo de los 500 nanómetros. Es decir, es poco sensible a la luz azulada, que es el componente mayoritario de la luz emitida por los ledes blancos que inundan algunos pueblos y ciudades que, como se ha señalado en la sección 1 de este informe, es la más perjudicial para nuestra salud y para la biodiversidad. El sensor es ciego para la luz de longitudes de onda corta.

EL CSIC está haciendo frente al desafío de promover una nueva cultura de la luz de un modo parecido a lo que ya se logró en España con las nuevas culturas de la gestión del agua o del ruido. La conciencia social es condición indispensable para minimizar los impactos de este problema ambiental y la divulgación científica juega un papel clave en este sentido. En esta línea, hay que destacar que el CSIC ha publicado, junto con la editorial Catarata, el libro *La contaminación lumínica* (Pelegrina López, 2022), el primer libro de divulgación científica escrito en español que aborda esta problemática y supone, a día de hoy, la obra más completa y actual sobre esta amenaza.

El CSIC ha organizado en los últimos cinco años más de 20 ponencias sobre contaminación lumínica, una treintena de actividades de divulgación, dos cursos de especialización en colaboración con universidades de prestigio, como la Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP) y la Universidad Internacional de Andalucía (UNIA), y reuniones científicas internacionales entre las que cabe destacar la celebrada los días 14 y 15 de noviembre de 2023, en el Instituto de Astrofísica de Andalucía, enmarcada en la presidencia española de la Unión Europea.



Ejemplo de iluminación ornamental muy contaminante. / BENEHARO RODRÍGUEZ



2.4.

Ámbito de la salud

A LO largo de los últimos años, la investigación realizada por el CSIC ha aportado multitud de evidencias científicas sobre las causas de la contaminación lumínica, así como sobre sus consecuencias tanto en el ámbito de la salud medioambiental y la conservación de la biodiversidad como en el astronómico. Sin embargo, existen otras áreas en las que esta investigación es aún incipiente, pero no por ello menos importante. Es el caso del análisis de los efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana, que está aún en etapas iniciales tanto en el seno del CSIC como en otros muchos centros de investigación, tanto nacionales como internacionales.

Multitud de evidencias apuntan al papel de la contaminación lumínica como uno de los factores externos causantes de determinadas enfermedades. Por ejemplo, la exposición a la luz artificial durante la noche parece estar relacionada con el aumento del riesgo de cánceres dependientes de hormonas. En este sentido, el CSIC ha estudiado la asociación de la exposición a la luz artificial durante las horas de sueño con los cánceres de mama y de próstata en España. Ambas dolencias se asociaron con una alta exposición a luz con altas emisiones en la parte azul del espectro.

Por otro lado, el CSIC destaca por su liderazgo en el estudio de enfermedades metabólicas, como queda reflejado en el informe sobre estas enfermedades de la colección S4P. La exposición continuada a la luz artificial se ha propuesto como uno de los factores de riesgo en este tipo de enfermedades. Uno de los retos importantes para el CSIC es profundizar en la investigación y comprensión del vínculo entre la contaminación lumínica (causa) y las alteraciones metabólicas que se producen en las personas (consecuencias) como método para prevenirlas.

Además de contribuir al bienestar de las personas reduciendo sus problemas de salud, este tipo de investigación podría ofrecer, a través de la prevención, una perspectiva interesante acerca del nivel de carga y costes sanitarios.

tres



Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

|||||

La contaminación lumínica, definida como la alteración de la oscuridad natural de la noche provocada por la luz artificial, provoca importantes impactos y, en gran medida, consecuencias aún desconocidas en ámbitos como la salud medioambiental y humana, las observaciones astronómicas y el patrimonio cultural.

|||||

Desde su origen, la contaminación lumínica es un problema ambiental con un enorme componente social. Culturalmente, la luz artificial es sinónimo de bienestar, de belleza, de sociedades avanzadas, de estatus y de seguridad. Esto conlleva que la contaminación lumínica sea una problemática ambiental que el público general no identifica como una amenaza, sino como una señal inequívoca de bienestar y nivel de progreso.

|||||

La contaminación lumínica es un desafío ambiental de alcance global. La intensidad y extensión de las áreas iluminadas no ha hecho más que aumentar y la previsión es que esta tendencia se mantenga e, incluso, se acentúe en el futuro a medida que la población mundial humana crezca y los costes asociados a la iluminación se reduzcan por su mayor eficiencia. Esto, junto con la alta capacidad de dispersión de la luz, hace que enormes extensiones de nuestro planeta estén contaminadas lumínicamente. Estas áreas van mucho más allá de las áreas urbanas y el problema afecta a ecosistemas de gran valor medioambiental y ecológico, así como a multitud de especies gravemente amenazadas.

|||||

El uso generalizado de lámparas tipo led, mucho más eficientes energéticamente que los antiguos sistemas de iluminación, ha agravado el problema. Por un lado, su menor coste ha hecho que el uso de iluminación artificial se expanda; aumentando así tanto la intensidad de luz utilizada como los periodos y las zonas iluminadas. Por otro lado, la luz blanca que emiten agrava el impacto de la contaminación lumínica, ya que es la que más afecta al equilibrio de los ecosistemas y a nuestra salud.

|||||

A diferencia de otras presiones y agentes contaminantes que amenazan nuestro medio, el desarrollo normativo existente para regular la contaminación lumínica y mitigar sus efectos se encuentra aún en un estadio muy incipiente. Por ejemplo, no existen unos niveles máximos admisibles recogidos en ninguna ley que limite tanto las radiaciones contaminantes como el flujo luminoso. Debido al alcance global de esta amenaza, la normativa debería ser consensuada internacionalmente y estar basada en el conocimiento científico. En este sentido, la conciencia social es clave, puesto que cuanto mayor sea esta, mayor será la demanda de un desarrollo e implementación normativo adecuado.

|||||

Los efectos de la contaminación lumínica sobre las especies y ecosistemas son múltiples y variados. Multitud de especies tanto animales como vegetales han modificado sus ciclos vitales, su distribución o su comportamiento, lo que ha afectado a la estructura y al funcionamiento de los ecosistemas. La contaminación lumínica también puede tener efectos letales sobre determinadas especies, ya que aumenta su exposición frente a depredadores o actúa como un atrayente y aumenta el riesgo de muerte por colisión o atropello.

|||||

La contaminación lumínica pone en peligro emplazamientos que en su día se eligieron por cumplir con todos los requisitos necesarios para albergar observatorios astronómicos de vanguardia. No podemos arriesgar el desarrollo científico y tecnológico ligado a estos. La ciencia moderna le debe mucho a la observación del cielo y al estudio de los fenómenos astronómicos. Por tanto, es imperativo proteger los observatorios astronómicos y garantizar la calidad del cielo oscuro, un recurso de indudable valor científico, cultural, social y económico.

|||||

Entre las especies potencialmente amenazadas por la contaminación lumínica se encuentra la especie humana. La presencia de luz artificial durante la noche tiene dos consecuencias directas e inmediatas en nuestro organismo: la alteración de nuestro reloj biológico y la supresión de la síntesis de melatonina. Estos impactos pueden, a largo plazo, traducirse en enfermedades.

|||||

La mitigación de los efectos de la contaminación lumínica pasa necesariamente por iluminar de una forma más racional y sostenible. Algunas de las medidas que se pueden adoptar para iluminar de una forma más sostenible nuestros pueblos y ciudades son eliminar el flujo de luz en la horizontal y hacia el hemisferio superior, utilizar lámparas cálidas (con una temperatura de color inferior a los 3000 k) y siempre dentro del rango visible, y emplear reguladores de intensidad, sensores de movimiento o temporizadores.

|||||

De entre los múltiples estresores que amenazan nuestro planeta, la contaminación lumínica presenta la tasa de incremento anual más rápida. Sus efectos sobre nuestra salud y la de los ecosistemas se suman a los causados por otras amenazas como, por ejemplo, el aumento de la temperatura del planeta, la contaminación por plásticos y la degradación de los ecosistemas naturales. Abordar el problema en su totalidad requiere de la consideración conjunta de todos estos estresores y de sus interacciones, más que del abordaje individual de las múltiples problemáticas.

|||||

El cielo no solo se enfrenta a la amenaza de la contaminación lumínica. Las megaconstelaciones de satélites artificiales, su reentrada en la atmósfera o la contaminación radioeléctrica son otras amenazas que están poniendo en peligro a un recurso que ha inspirado a la humanidad desde hace milenios y que ha sido y es clave para la ciencia moderna. El reto radica en estudiar el impacto acumulado del conjunto de amenazas que pueden interaccionar entre sí agravando sus efectos.

Recomendaciones



La contaminación lumínica y sus consecuencias sociales necesitan ser abordadas desde una perspectiva multidimensional y multisectorial. Solo a través del conocimiento profundo de este problema conseguiremos implementar políticas públicas eficaces que ayuden a controlar sus efectos en el medio y largo plazo.

Para los decisores políticos:



Es necesario un reconocimiento público general de la luz artificial como un contaminante ambiental que genera graves perjuicios en las personas, el medioambiente, las observaciones astronómicas y el patrimonio cultural.



Las autoridades político-administrativas de todos los niveles de gobierno deben realizar un esfuerzo normativo y legislativo mayor para incluir la contaminación lumínica en sus regulaciones ambientales. En este sentido, se deberían impulsar acciones coordinadas entre los departamentos y unidades centrales, regionales y locales encaminadas a la monitorización eficaz de la contaminación lumínica y su mitigación o reducción.



Es clave que la adopción de decisiones, así como la innovación pública en esta materia, se lleve a cabo a partir de métodos y medidas basadas en la evidencia científica. Por ello, es decisivo el impulso y la promoción de líneas de financiación específicas (a nivel nacional e internacional) para la investigación en materia de contaminación lumínica y sus efectos en los ecosistemas, el patrimonio cultural y, especialmente, la salud humana.



Es imprescindible contar con una hoja de ruta consensuada por todos los actores (tanto públicos como privados) que permita definir objetivos y estrategias ambiciosas para controlar la contaminación lumínica, en consonancia con las grandes líneas de actuación a nivel internacional. Además, es necesario establecer mecanismos para vigilar el grado de cumplimiento.



El desarrollo de políticas públicas a nivel nacional y subnacional en materia de contaminación lumínica debe partir del marco jurídico de la Red Natura 2000 (el principal instrumento diseñado por la Comisión Europea para la conservación de la naturaleza) e integrar las directivas y declaraciones internacionales específicas (UNESCO, COPUOS-ONU, IAU, Dark Sky).

Para el sector privado/industria:

Explorar nuevas estrategias de publicidad y *marketing* que no dependan exclusivamente de la luz artificial. Para abordar este desafío, las empresas pueden organizar eventos y promociones en entornos naturales o espacios urbanos abiertos, donde la luz del sol pueda realzar la experiencia de marca; patrocinar proyectos medioambientales para ganar visibilidad de marca de manera ética y responsable, o utilizar materiales publicitarios innovadores y sostenibles que interactúen con la luz natural de manera sorprendente, como tintas especiales que brillen o cambien de color bajo la luz solar.



Cambiar los sistemas industriales de fabricación para que solo se fabriquen ledes cálidos y desaparezcan del mercado los ledes blancos altamente contaminantes para la salud humana, los ecosistemas y las observaciones astronómicas.



En colaboración con el sector público y las organizaciones no gubernamentales, impulsar la implantación de un distintivo de iluminación sostenible análogo al que se usa para certificar el comercio justo o la pesca sostenible. Este distintivo serviría para guiar al ciudadano y a las administraciones locales hacia el uso de lámparas y luminarias respetuosas con el medioambiente, la salud humana o las observaciones astronómicas.

Para la comunidad científica:

Desarrollar métodos estandarizados de medición periódica y continua de la contaminación lumínica que permitan evaluar la evolución espacial y temporal de sus niveles.



Fomentar la creación de redes de investigación que desarrollen líneas de trabajo multidisciplinarias para profundizar en el conocimiento de los posibles impactos de la contaminación lumínica sobre organismos, ecosistemas, salud humana y otro tipo de actividades, como las observaciones astronómicas y el turismo astronómico o de naturaleza.



Coordinar esfuerzos entre los gobiernos y la comunidad científica internacional para fomentar el uso sostenible de la luz artificial y establecer límites en los niveles de contaminación lumínica.



Paisaje nocturno dominado por la iluminación urbana. / BENEHARO RODRÍGUEZ

Para la sociedad:



Tomar conciencia de que la luz artificial es un agente contaminante con potenciales efectos adversos en nuestra salud, el equilibrio de los ecosistemas, las observaciones astronómicas y el patrimonio cultural.



Entender que los ciudadanos somos parte responsable del problema, pero también podemos ser la solución si modificamos nuestro modelo de uso de la luz artificial para que cada vez sea más racional y sostenible.



Aumentar el compromiso social que impulse la demanda de cambios significativos en los modelos de iluminación, así como políticas más sólidas y efectivas contra la contaminación lumínica.

cuatro



Listado de centros



CENTRO	PÁGINA WEB	CORREO ELECTRÓNICO
Estación Biológica de Doñana (EBD, CSIC)	www.ebd.csic.es/	direccion.ebd@csic.es
Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA, CSIC)	www.iaa.csic.es/	direccion.iaa@csic.es
Instituto de Ciencias del Mar (ICM, CSIC)	www.icm.csic.es/	direccion.icm@csic.es
Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN, CSIC)	www.mncn.csic.es/	direccion.mncn@csic.es

cinco



Para saber más



FUTURE BRIEF: Light Pollution: Mitigation measures for environmental protection – Issue 28. (s. f.). Recuperado 16 de mayo de 2024, de https://environment.ec.europa.eu/publications/future-brief-light-pollution-mitigation-measures-environmental-protection-issue-28_en



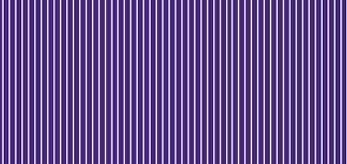
Pelegrina López, A. (2022). *La contaminación lumínica*. CSIC.



Five Principles for Responsible Outdoor Lighting. (2024, enero 11). DarkSky International.



What is light pollution? (2024, enero 11). DarkSky International.



Ciencia para las Políticas Públicas



Informe de transferencia
de conocimiento



SCIENCE  POLICY