

Contaminación Lumínica

Julio Solís García



Revista Digital de ACTA
2026

Publicación patrocinada por



ACTA representa en CEDRO los intereses de los autores científico-técnicos y académicos. Ser socio de ACTA es gratuito.

Solicite su adhesión en acta@acta.es

Contaminación Lumínica

© 2026, Julio Solís García

© 2026, 

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Se autorizan los enlaces a este artículo.

ACTA no se hace responsable de las opiniones personales reflejadas en este artículo.

INTRODUCCIÓN

"Como la música y el arte, el amor hacia la naturaleza es un lenguaje común que puede trascender fronteras políticas y sociales"

Jimmy Carter (1924-2024), político y humanista norteamericano. 39º presidente de EE.UU.

En términos científicos, por contaminación lumínica se entiende la alteración de la oscuridad natural del medio nocturno producida por la emisión artificial de luz. Según el Vocabulario Internacional de Iluminación de la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE), la contaminación lumínica es un término genérico que indica la suma total de todos los efectos adversos de la luz artificial.

En España, el día 17 de noviembre del 2007 entró en vigor la "Ley de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera" (Ley 34/2007 de 15 de noviembre), en la que en su artículo 3-f se define "contaminación lumínica" como: *"El resplandor luminoso nocturno o brillo producido por la difusión y reflexión de la luz en los gases, aerosoles y partículas en suspensión en la atmósfera, que altera las condiciones naturales de las horas nocturnas y dificultan las observaciones astronómicas de los objetos celestes, debiendo distinguirse el brillo natural, atribuible a la radiación de fuentes u objetos celestes y a la luminiscencia de las capas altas de la atmósfera, del resplandor luminoso debido a las fuentes de luz instaladas en el alumbrado exterior"*.

Conviene fijarse en que, aunque menciona expresamente las observaciones astronómicas, lo hace dentro de un contexto más general de alteración de las condiciones naturales de las horas nocturnas, haciendo así extensible el ámbito de afectación de la contaminación lumínica a la biodiversidad, el paisaje y al consumo energético, entre otros.

Para prevenir y reducir la contaminación lumínica, en la disposición adicional cuarta de esta misma Ley se encomienda a las Administraciones Públicas las actuaciones necesarias encaminadas a conseguir estos cinco objetivos prioritarios:

- Promover un uso eficiente del alumbrado exterior, sin menoscabo de la seguridad que debe proporcionar a los peatones, los vehículos y las propiedades.
- Preservar al máximo posible las condiciones naturales de las horas nocturnas en beneficio de la fauna, la flora y los ecosistemas en general.
- Prevenir, minimizar y corregir los efectos de la contaminación lumínica en el cielo nocturno, y, en particular en el entorno de los observatorios astronómicos que trabajan dentro del espectro visible.
- Reducir la intrusión lumínica en zonas distintas a las que se pretende iluminar, principalmente en entornos naturales e interior de edificios.

La contaminación lumínica es uno de los problemas ambientales que más se ha agravado en los últimos años, debido a la proliferación del alumbrado nocturno en exteriores, sobre todo en zonas urbanas, aunque con una repercusión geográfica cada vez más extensa. Su impacto es cada vez más notable, afectando desde el paisaje nocturno hasta la salud humana, pasando por la alteración de los ecosistemas y de la biodiversidad.

Trabajos como los de Falchi, F et al. (The new world atlas of artificial night sky brightness. Science Advances vol 2 - 2016) respecto a la situación general de la contaminación lumínica en España, arrojan un resultado alarmante, señalando que desde los años 90 del pasado siglo no existe ninguna zona desprovista de luz artificial parásita en la atmósfera.

Esta realidad significa una degradación del entorno natural, de origen artificial, que afecta al paisaje y a los ecosistemas de todos nuestros espacios naturales protegidos, muy especialmente los que se encuentran próximos a zonas urbanas. La contaminación lumínica no se ha tenido en cuenta en la mayoría de estos espacios naturales, salvo en unos pocos, como en el Parque Natural de la Albufera de Valencia o en el Parque Nacional de Doñana, en los que se están implementando medidas de estudio, diagnóstico y prevención.

A pesar de todo, en los últimos años están aumentando los estudios científicos sobre esta materia, enfocados desde distintos puntos de vista, ya que es un tema de investigación pluridisciplinar. Ya podemos encontrar trabajos que abordan el problema energético, los efectos medioambientales, el deterioro de la calidad del cielo nocturno para la observación astronómica, el cambio de comportamiento en los ecosistemas y su efecto en animales y plantas, y los efectos sobre la salud de los seres humanos.

Debido precisamente a la gran diversidad de aspectos y materias que se ven afectados por la contaminación lumínica, el desarrollo legislativo iniciado hace pocos años todavía no ha alcanzado a todos los ámbitos con el alcance necesario para paliar los importantes efectos negativos en un sentido amplio. A modo de ejemplo, señalar que se desperdicia entre la mitad y una cuarta parte de la iluminación artificial nocturna, que además de afectar a los ecosistemas hace aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero. Igualmente afecta a la investigación científica relacionada con el cielo estrellado, declarado "Patrimonio de la Humanidad", lo que nos aleja en gran medida de nuestra ancestral herencia cultural.

Analizando la información a escala global facilitada por el "mapa mundial del brillo del cielo" publicado en el año 2016, vemos la verdadera dimensión del problema generado por la dispersión indeseada de la luz artificial nocturna en todo el planeta. Según esta publicación de referencia, el 85% de la población mundial está sometida a cielos contaminados lumínicamente, aunque en las zonas más desarrolladas como EE.UU. o Europa ese porcentaje sube hasta el 99%, y eso considerando que casi un millón y medio de personas en el mundo carecen de acceso a la electricidad.

Evidentemente, entre las zonas menos afectadas por la contaminación lumínica se encuentran algunos países como Madagascar, Chad o la República Centrafricana, en los que el 75% de su población vive bajo cielos nocturnos libres de brillo artificial.

En el extremo opuesto tenemos a Singapur, considerada la ciudad (Estado) con mayor contaminación lumínica del mundo, su población no sabe lo que es un cielo nocturno estrellado!. Otros lugares del mundo sometidos a ese exceso de luz artificial nocturna se concentran en torno al golfo pérsico, en concreto en la zona de la península arábiga, como Kuwait, Arabia Saudí, Catar y Emiratos Árabes Unidos.

Si hablamos de continentes, Europa encabeza la lista de los más contaminados lumínicamente. Sus grandes ciudades como Madrid, Londres, París, Bruselas, Ámsterdam o Bruselas, por ejemplo, están entre las que tienen peores condiciones a este respecto, y España es el tercer país de la UE, después de Grecia y Malta, en cuanto a niveles de contaminación lumínica, y el que tiene un mayor gasto en iluminación nocturna por habitante y

año, con valores medios de 116 kWh, frente a los 91 kWh de Francia o los 43 kWh de Alemania (Figura 01).



Figura 01: Una vista nocturna de la Tierra que capta la actividad humana del planeta a través de las emisiones de luz artificial. Elaborada a partir de imágenes satelitales tomadas diariamente durante la última década, la imagen muestra la dinámica de la actividad humana nocturna: las zonas doradas indican un aumento de la luminosidad, las zonas moradas, una disminución, y las zonas blancas, ambos fenómenos. Crédito: Michala Garrison / NASA Earth Observatory. Imagen-> <https://skyandtelescope.org/astronomy-news/light-pollution-is-increasingly-volatile-around-the-world/>

En España, Madrid (Figura 02) es la ciudad que más contamina por su mayor potencia de emisión y, por tanto, la que más luz emite hacia el cielo, por delante de otras grandes ciudades como Zaragoza, Sevilla, Barcelona o Valencia. Sin embargo, las fuentes más ineficientes y dañinas de radiación lumínica (color blanco, flujo al hemisferio superior y án-

gulos de emisión próximos a la horizontal) corresponden a Bilbao, Hospitalet de Llobregat (Barcelona) y Barakaldo (Vizcaya).



Figura 02: Contaminación lumínica hacia el suroeste de Madrid. Fotografía tomada desde el Templo de Debod en 1981, con otra foto de la Luna en cuarto creciente superpuesta en el mismo fotograma. Imagen: Julio Solís García

La comprensión de los efectos negativos de la contaminación lumínica, ayuda a ser más conscientes del grave problema real que supone el exceso de iluminación en nuestras ciudades y zonas urbanas en general. La luz artificial nocturna es un elemento indispensable para el bienestar y la seguridad en nuestro actual modelo social, pero es necesario controlar su uso inadecuado y extremo, evitando así todas las consecuencias indeseables, sobre todo en cuatro extensas áreas claramente identificadas: los ecosistemas, las observaciones astronómicas, el patrimonio cultural y la salud de las personas.

Aparte de las definiciones técnicas, a la mayoría de las personas les resulta rápidamente comprensible el concepto de contaminación lumínica: "ese brillo luminoso que inunda nuestros cielos durante la noche". Y así es, el brillo artificial del cielo nocturno (en inglés "Skyglow") es la manifestación más evidente y popular de la contaminación lumínica, aunque sus consecuencias resultan bastante más graves de lo que pueda parecer a primera vista. Levantar la vista y mirar al cielo es la forma más directa de apreciar este tipo de contaminación, razón por la que probablemente los astrónomos fueron los primeros en sufrir la pérdida de calidad del cielo nocturno y notar su presencia, aunque tiene también otros efectos más prosaicos como los deslumbramientos y la intrusión lumínica.

El brillo artificial del cielo (skyglow) se produce cuando la luz artificial nocturna se dirige directamente hacia la bóveda celeste, o bien es reflejada por elementos terrestres como

calles, carreteras, caminos, edificios y cualquier otra estructura natural o artificial hacia el cielo. Este fenómeno altera los paisajes, dificulta la observación de estrellas, planetas y demás objetos celestes, y afecta muy negativamente a la vida de animales y plantas.

Si la Tierra fuera un planeta sin atmósfera, como Mercurio por ejemplo, o la Luna (aunque no sea un planeta), no se podría producir el "skyglow", ya que son imprescindibles las moléculas y aerosoles presentes en la misma que modifican la dirección de los haces de luz y su comportamiento, dependiendo de su longitud de onda. En general, la dispersión de la luz en la atmósfera es mayor para frecuencias altas (longitudes de onda cortas), pero más importante aún es el rango del espectro de la emisión luminosa, pues cuanto mayor es, mayor resulta el brillo artificial del cielo, dada la mayor cantidad de longitudes de onda susceptibles de ser afectadas por las moléculas y partículas presentes en la atmósfera.

La polución atmosférica, las nubes, el vapor de agua y otros compuestos, que en mayor o menor medida circulan por la atmósfera, aumentan considerablemente el "skyglow", dado que incrementan el número de partículas susceptibles de dispersar la luz que les llega del suelo, y por tanto tienen un efecto multiplicador sobre la contaminación lumínica. Durante los primeros meses del año 2020 tuvimos una ocasión única para verificar esta afirmación; entre los meses de enero y abril de ese año se hicieron diversos estudios acerca de los efectos del confinamiento decretado para hacer frente a la pandemia provocada por el virus SARS-CoV-2 (COVID-19), concluyendo que durante ese periodo los niveles de brillo artificial del cielo disminuyeron de manera importante, coincidiendo con la reducción drástica de los contaminantes expulsados a la atmósfera por el tráfico urbano, industrias y medios de transporte.

La intrusión lumínica, que es junto al brillo artificial del cielo y al deslumbramiento uno de los efectos más perniciosos de la iluminación artificial nocturna, se produce por el desbordamiento del flujo luminoso hacia otras áreas próximas a las que se debe iluminar. Un ejemplo claro lo tenemos en el alumbrado público de las zonas urbanas que en ocasiones se sitúa a demasiada altura o tiene un diseño deficiente, haciendo que muchas viviendas próximas reciban parte de su iluminación a través de balcones y ventanas. Estas molestias son muy frecuentes entre la población, aunque no siempre se asocia con un problema ambiental relacionado con la contaminación lumínica. También es muy habitual en ciudades costeras colocar una iluminación excesiva en los paseos marítimos, que generan un problema de luz intrusa que ilumina el mar muchos metros más lejos de la línea de playa. Los principales causantes de la intrusión lumínica son las luminarias esféricas, las farolas ubicadas en las fachadas, y los focos que iluminan monumentos, escaparates, tiendas y centros comerciales.

Por último, el deslumbramiento, que se produce cuando las luminarias están mal orientadas y/o diseñadas y dirigen su luz directamente a los ojos, o bien cuando iluminan en exceso una superficie determinada provocando un molesto reflejo que alcanza nuestra visión, es otra manifestación particularmente importante de la contaminación lumínica sobre todo en el alumbrado de carreteras, ya que incide directamente sobre la seguridad del tráfico de vehículos.

Los excesos de potencia, cambios bruscos de iluminación (pasando de zonas muy oscuras a otras altamente iluminadas), o luminarias mal dirigidas, son algunas de las fuentes principales de deslumbramientos que deben evitarse para mejorar la seguridad vial.

ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

"Produce una inmensa tristeza pensar que la naturaleza habla mientras el género humano no la escucha"

Víctor Hugo (1802-1885), dramaturgo, novelista, poeta, intelectual y político francés

Existen dos elementos, en lo que al alumbrado de exteriores de refiere, que tienen un papel fundamental respecto al problema ambiental de la contaminación lumínica, y que muchas veces se utilizan de manera indistinta o incluso se confunden: "La lámpara" y "La luminaria". En los dos casos, su desempeño resulta determinante para controlar los niveles de contaminación generados por la iluminación artificial nocturna.

Las lámparas son el elemento que emite la luz, "bombillas" en términos coloquiales. En materia de alumbrado exterior es común referirse a ellas por la forma en que generan luz: incandescencia, descarga, o LED (diodo emisor de luz, o dicho en inglés *light-emitting diode*).

Las lámparas incandescentes emiten luz al calentarse un fino filamento conductor que se encuentra en su interior, mientras que las lámparas de descarga (incluyendo los tubos fluorescentes) emiten luz cuando se genera una descarga eléctrica dentro de una ampolla que contiene gases o vapores metálicos (frecuentemente "Na" o "Hg", este último prohibido por la U.E. en 2015), que pueden encontrarse a baja o alta presión.

En cuanto a los LED, su uso en el alumbrado exterior se ha extendido de forma generalizada en los últimos años. Su tecnología se basa en la generación de luz mediante un fenómeno físico denominado "electroluminiscencia", que se produce al hacer pasar una corriente eléctrica a través de un material semiconductor.

Las luminarias, por otro lado, son los elementos que soportan una o varias lámparas, es decir, las "farolas", "faros" o "soportes" que sujetan, protegen, filtran, distribuyen, transforman y dirigen el flujo luminoso hacia el objeto o área que es necesario iluminar.

El diseño de la luminaria y su forma determinan la dirección hacia la que se emite la luz de la lámpara, hecho que determina el nivel de brillo artificial del cielo provocado y la capacidad de intrusión de su luz. La altura a la que se instala también es importante, porque a menor altura mayor posibilidad de controlar la dispersión de su luz, consiguiendo por tanto el mismo nivel de iluminación utilizando lámparas de menor potencia.

La contaminación lumínica es el principal efecto de una iluminación artificial nocturna excesiva y mal diseñada, pero al mismo tiempo supone un enorme gasto energético. Esto es un problema añadido, aunque una mayor eficiencia y menor consumo podría incentivar su expansión y crecimiento, facilitando una mayor contaminación lumínica aún. Por tanto una mayor eficiencia energética no debe tomarse por sí sola como solución a este grave problema, sino como algo añadido al principal objetivo de reducir la contaminación lumínica y optimizar su uso, no solamente su consumo.

En términos de coste económico y gasto de energía, el gasto eléctrico en alumbrado público en España creció a un ritmo del 4% entre los años 1990 y 2015, lo que traducido a consumo anual arroja una cifra de 5,4 TWh con un gasto en euros de 950 millones, colocándonos a la cabeza entre los países de la U.E. en consumo de alumbrado por habitante, y el segundo en valores absolutos.

En cualquier caso, el desperdicio de la luz es consustancial a la contaminación lumínica, bien porque el dispositivo (luminaria) no ilumina aquello para lo que está diseñada, porque lo hace en momentos o intensidad inadecuados, o porque emite en una banda del espectro electromagnético inadecuada.

El mal uso de esa iluminación artificial nocturna y su consiguiente desaprovechamiento obedece en términos generales a:

- Falta de un diseño o de un proyecto de iluminación que considere la tecnología adecuada, así como la instalación y cantidad de luminarias que se requieren.
- Desconocimiento de las tecnologías de iluminación disponibles y sus mejores usos.
- Prejuicios respecto a que más cantidad e intensidad de luz siempre es mejor, especialmente en relación a temas de seguridad.

Y específicamente a:

- Mala instalación de la luminaria, es decir, luminarias cuya luz no ilumina el objeto o espacio que se necesita y/o se dirige al hemisferio superior u horizontal.
- Utilización de lámparas que emiten en el espectro de luz que no es útil para el ser humano, pero que afecta a otros seres vivos o al desarrollo de actividades como la astronomía.
- Utilización de una cantidad excesiva de luminarias o de una intensidad luminosa inadecuada, que hace que se refleje al cielo.

Es cada vez más frecuente encontrar proyectores asimétricos en el alumbrado urbano de muchas ciudades, que incrementan hasta el 25% o más los niveles luminotécnicos y de uniformidad respecto a los simétricos, más antiguos, obsoletos e ineficientes que inundaban de luz todo el espacio a su alrededor, en todas direcciones (Figura 03).

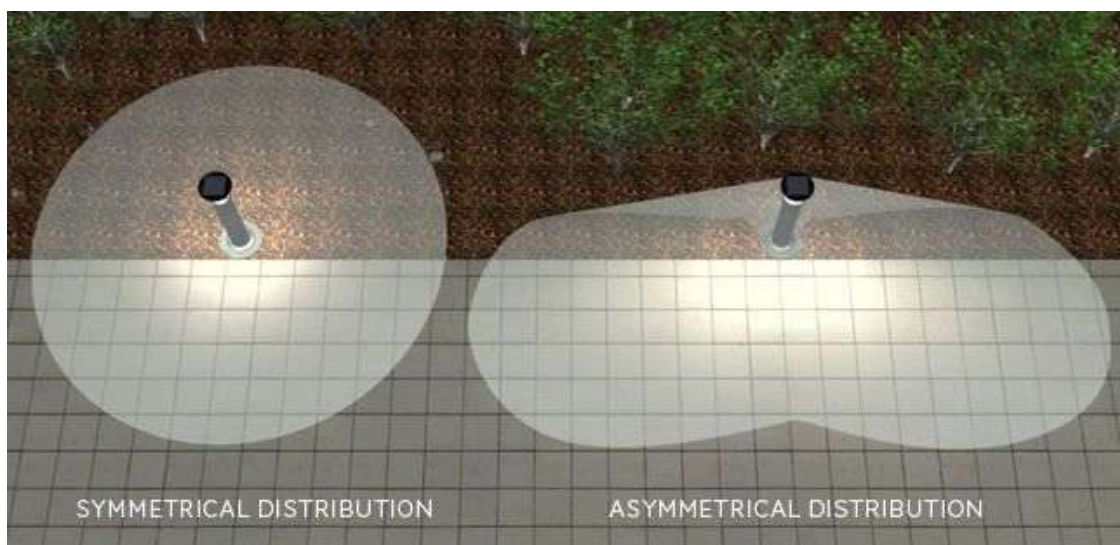


Figura 03: Luminarias con salida de luz simétrica y asimétrica.

Fuente: <https://industrialesled.com/iluminacion-asimetrica-y-simetrica/>

En ocasiones, se reutilizan proyectores simétricos acoplándoles elementos como viseras que evitan la emisión de luz sobre el horizonte, pero lo más adecuado es instalar proyectores con una asimetría específica en función del lugar de su colocación y de los entornos que debe iluminar, evitando deslumbramientos indeseados (Figura 04).



Figura 04: Inclinación y apantallamiento de las luminarias.

Fuente: <https://www.astroacademy.es>

En cuanto al rango de emisión, las lámparas más nocivas, más dañinas para la observación astronómica y menos eficaces, son las que emiten en azul y ultravioleta, pues además de no tener utilidad luminotécnica son las que tienen una dispersión mayor en la atmósfera. Al contrario, las de luz más "cálida", como las de vapor de sodio de baja presión, son las menos perjudiciales y más eficaces en cuanto a gasto energético, seguidas por las de vapor de sodio de alta presión y fluorescentes, las de mercurio y por último las incandescentes.

Hay que destacar el uso cada vez más frecuente de la tecnología LED para el alumbrado urbano exterior. El menos dañino es el de color ámbar, o bien blanco pero con filtros de color ámbar, que ofrece una temperatura de color equivalente al de las antiguas lámparas de sodio. También es frecuente el uso de LED blancos, pero con un uso limitado a áreas peatonales y siempre con una temperatura de color inferior a los 2.700 K, en el extremo "cálido" de la zona blanca. Esta novedosa tecnología incorpora numerosos beneficios, sobre todo por su notable menor coste económico y energético que las lámparas tradicionales, permitiendo iluminar más y mejor con un menor gasto.

El peligro ya mencionado de los LED blancos es que debido precisamente a sus enormes ventajas en cuanto a consumo, está incrementando su presencia en los núcleos urbanos. 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.

El otro efecto indeseado de la incorporación de la tecnología LED a los sistemas de iluminación nocturna de nuestras ciudades y pueblos, es que esa sustitución de lámparas de sodio tradicionales, que emitían principalmente en un tono anaranjado ("cálido"), por las nuevas LED que lo hacían con una temperatura de color más alta, emitiendo unos tonos más blanco-azulados, vino acompañada de una mayor dispersión de la luz emitida, y por tanto de un aumento en cuanto a contaminación lumínica, incluso manteniendo la misma intensidad de iluminación. Nos encontramos con la paradoja de que ahora se gasta menos energía y dinero, pero se contamina más desde el punto de vista lumínico (Figura 05).



Figura 05: Iluminación urbana con LED blancos (muy contaminantes) y LED con temperatura de color menor, de color ámbar (menos contaminante). Fuente: <https://www.astroacademy.es>

La tecnología LED 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 LED que emitan luz blanca, tremendamente contaminante para nuestros ecosistemas y con impactos probados en nuestra salud. Por tanto, se hace necesario fabricarlos de manera que emitan luz más cálida (menos

contaminante) manteniendo la eficiencia energética, aunque de momento esta eficiencia 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 (CO_2) a la atmósfera es también muy similar.

Lo que no podemos obviar son las ventajas que nos ofrece esta tecnología (LED). 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 (Figura 06). Es el caso de los LED PC-ámbar (Phosphor-Converted Amber), 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.

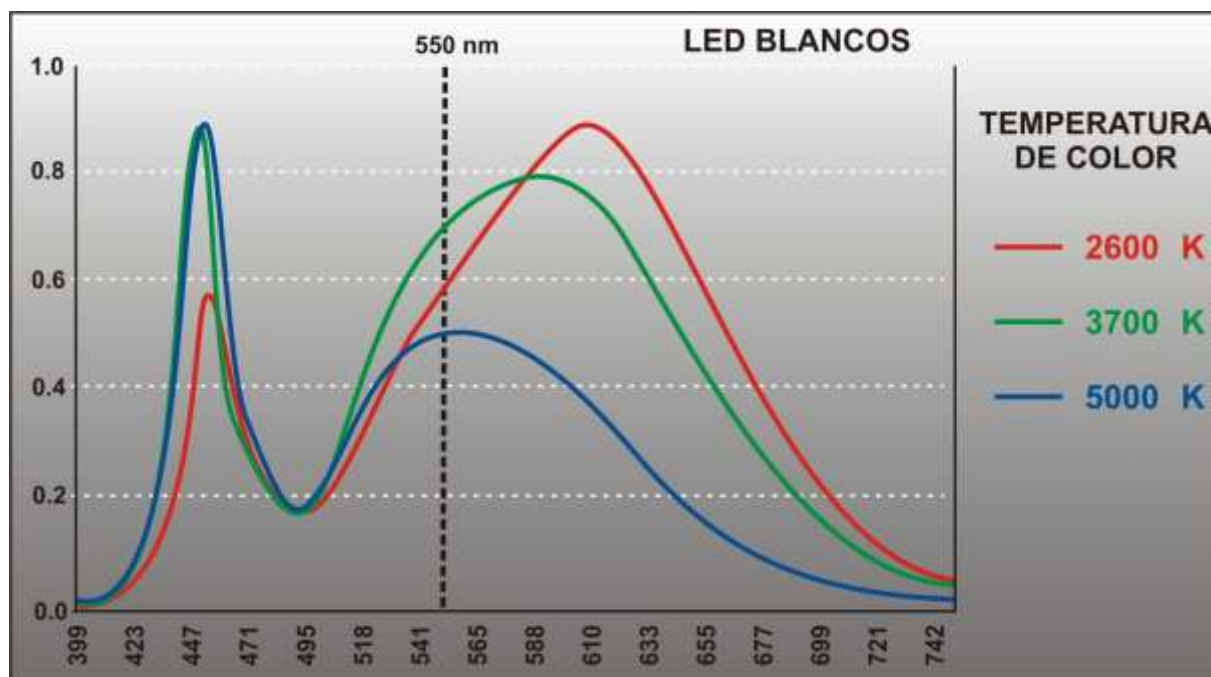


Figura 06: Curvas de emisión (espectro) de LED BLANCO cálido, neutro y frío.
Fuente: <https://www.astroacademy.es>

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.

Las luminarias homologadas que se instalan actualmente en el entorno urbano, deben cumplir con el propósito de iluminar básicamente en dirección al suelo, evitando en lo posible una iluminación lateral que supere los 90° , y por tanto que su haz no ilumine en ab-

soluta por encima del propio dispositivo. El diseño, inclinación y apantallamiento de los sistemas de iluminación urbanos son fundamentales para que puedan cumplir su función respetando el medio ambiente de manera eficiente.

En resumen, podría decirse que existen tres parámetros básicos que caracterizan una fuente de luz artificial: el **flujo luminoso** que es la cantidad de luz emitida (medida en lúmenes), su **temperatura de color** (que se mide en kelvins), establecida por la Ley de Wien, que relaciona de manera inversa la longitud de onda de la radiación emitida con su temperatura absoluta (Figura 07), correspondiendo colores cálidos (anaranjados) a temperaturas (de color) más bajas, y por último, la **dirección** (0° cuando apunta directamente al suelo, 180° cuando lo hace hacia el cenit, y entre 70° y 130° cuando ilumina hacia el horizonte).



Figura 07: Temperaturas de color en iluminación LED, desde el anaranjado hasta el azul.

Fuente: <https://venalsol.com/es/blog/iluminacion-led/guia-completa-sobre-la-temperatura-de-color-en-la-iluminacion-led.html>

Si la dirección del flujo luminoso se concentra en la zona cercana al cenit (180°) su dispersión es pequeña, pero su utilidad es nula, creándose un brillo artificial en el cielo a nivel local que no sirve más que para privarnos del magnífico espectáculo de un firmamento estrellado. Esta circunstancia introduce un término muy utilizado en la normativa vigente en lo relativo al alumbrado de exteriores y contaminación lumínica denominado "FHS" (Flujo Hemisférico Superior), que se refiere a la cantidad de luz que se emite en una dirección mayor de 90° . El parámetro FHS puede resultar algo engañoso porque no tiene en cuenta la dirección del flujo, y por tanto, una luminaria con un FHS pequeño se asocia a una luminaria poco contaminante, sin considerar que ese FHS pequeño resultará muy contaminante si se emite en una dirección cercana al horizonte.

La luz que se emite hacia los lados es la que alcanza mayores distancias, y por tanto genera mayor contaminación, acumulándose a la producida en zonas urbanas próximas o núcleos cercanos iluminados. Se estima que con la configuración urbanística actual, el 20% del brillo artificial que contamina nuestros cielos se origina en pueblos o núcleos urbanos cercanos, lo que confirma que la contaminación lumínica no es una cuestión local sino que supone un problema global que requiere una actuación conjunta de todos los países.

La falta de una normativa unificada y clara sobre la contaminación lumínica es uno de los problemas pendientes para poder regular su impacto de forma efectiva. Existen zonas

concretas con presencia de instalaciones científicas, que precisan unos cielos poco contaminados, que cuentan con disposiciones legales y normas más desarrolladas de lo corriente, como en la Isla de la Palma (Canarias), aunque en otras muchas zonas menos sensibilizadas el alumbrado público nocturno está sometido a criterios más laxos. En consecuencia, no es raro encontrar aún pueblos y lugares mal iluminados, aunque por motivos de ignorancia más que de mala fe, y no tanto en cuanto a poca iluminación sino a una iluminación ineficiente y mal colocada o instalada (Figura 08).



Figura 08: Lámparas de descarga más utilizadas en alumbrado exterior.

Fuente: <https://www.iac.es/es/observatorios-de-canarias/proteccion-del-cielo/contaminacion-luminica>

EFFECTOS EN LA OBSERVACIÓN ASTRONÓMICA

"Yo, un universo de átomos, un átomo en el universo"

Richard Phillips Feynman (1918-1988), físico teórico estadounidense.

Tenemos un dato estremecedor: aproximadamente un tercio de la energía eléctrica utilizada para iluminar nuestras noches se desperdicia hacia el espacio. La razón es suficientemente conocida, y se debe a la utilización de luminarias ineficientes con inclinaciones inadecuadas, intensidades de luz inconvenientes, en ocasiones no reguladas ni normalizadas, y que generan un exceso de gasto.

Un colectivo particularmente afectado por la contaminación lumínica es el de astrónomos y astrofísicos, tanto a nivel de aficionados como de profesionales o investigadores. Hasta hace no muchos años era frecuente encontrar observatorios astronómicos profesionales ubicados en el interior de grandes ciudades (Figura 09), o en colinas o montañas próximas. Ni la contaminación lumínica ni las exigencias técnicas de calidad del cielo eran altas. Hoy, la práctica totalidad de esos Observatorios están en desuso, reconfigurándose como museos o centros educativos y divulgativos, debido en buena parte a la contaminación lumínica. Incluso complejos astronómicos de vanguardia, como el de Izaña (Tenerife - Islas Canarias), han tenido que centrar sus tareas profesionales de investigación y observación en observaciones solares o en rangos del espectro no visible, dejando para cie-

los con menos contaminación lumínica, como los de la Isla de la Palma, las observaciones con telescopios ópticos que operan con luz visible e infrarroja.



Figura 09: Observatorio astronómico Urania, ubicado en la ciudad de Zurich (Suiza).

Fuente: <https://www.astroacademy.es/>

Actualmente la observación astronómica se ha desplazado hasta el espacio, más allá de la atmósfera, con telescopios espaciales que operan libres de contaminación, pero los observatorios terrestres, sobre todo los de rango visible, han tenido que ubicarse en las zonas altas y alejadas de las grandes ciudades, huyendo no solo de la contaminación lumínica sino de cualquier otro tipo de contaminación que afecte a la atmósfera y que reduzca la calidad de las imágenes de los objetos celestes. Entre esos lugares privilegiados están las cimas de los volcanes de Hawai (Mauna Kea), la isla de la Palma (Canarias) y los enormes complejos ubicados a lo largo de los Andes chilenos, cerca de sus picos más altos y en el desierto de Atacama.

Los observatorios tradicionales, que han quedado dentro de los núcleos urbanos o cerca de grandes generadores de contaminación lumínica, en ocasiones cuentan con algunas medidas paliativas como una normativa específica respecto al alumbrado público de su entorno, pero que son insuficientes como para permitir el desarrollo de un trabajo científico de calidad, quedando, como se ha mencionado anteriormente, para un uso lúdico o recreativo en el marco de la divulgación, educación y enseñanza de la astronomía.

En cuanto a la astronomía "amateur", la inmensa mayoría de asociaciones, sociedades y agrupaciones se ven obligadas a programar salidas al campo, al monte o a las montañas

cercanas lo más alejadas posible de la contaminación lumínica para poder desarrollar sus actividades de observación y astrofotografía en las mejores condiciones posibles, cosa difícil, ya que dichas organizaciones suelen encontrarse en ciudades grandes o medianas. Además, los instrumentos de aficionado no suelen contar con tecnologías avanzadas como la óptica adaptativa, la óptica activa o los espejos primarios segmentados.

En los últimos años se está extendiendo entre los aficionados a la astronomía, y particularmente a la astrofotografía, la utilización de servicios de "hosting de telescopios", que permiten instalar un equipo propio en unas instalaciones ajenas en un entorno de cielos libres de contaminación lumínica, dotados con la estructura y servicios necesarios para operar esos equipos de manera remota y conseguir astrofotografías de gran calidad. Este tipo de servicios implica un coste añadido o alquiler, pero es una buena opción para los que no tienen posibilidad de observar en cielos nocturnos de calidad.

El laboratorio de los astrofísicos y astrónomos está en el cielo, más allá de la atmósfera, por tanto para ellos un cielo oscuro y sin "skyglow" resulta imprescindible. Por suerte, tenemos telescopios en el espacio, libres del obstáculo atmosférico, y también se ha desarrollado una tecnología en la construcción de telescopios ubicados en la superficie terrestre que corrige, en buena medida, los efectos perniciosos de la contaminación atmosférica y de los efectos indeseables inherentes como las turbulencias, cambios de temperatura y humedad, y otros, que alteran la toma de imágenes astronómicas.

Lo que nos llega de los astros es básicamente su radiación electromagnética, y a través de la lectura y estudio del espectro de su luz es como averiguamos casi todo lo que sabemos de ellos. Por eso la contaminación lumínica es tan dañina para la astrofísica y la astronomía (Figura 10).



Figura 10: Galaxia de Andrómeda (M31) desde la ciudad de Málaga, con brillo artificial del cielo nocturno (skyglow), fotografiada el 29 de septiembre de 2019. Imagen: Julio Solís García

Tienen que darse varias condiciones principales para que ese "laboratorio científico" de utilidad astronómica cumpla con su cometido, y las instalaciones terrestres donde se construyen e instalan las antenas y telescopios, sobre todo estos últimos que operan en el rango visible e infrarrojo, han de ubicarse en lugares en los que:

- ✓ No haya presencia frecuente de masas de nubes y aerosoles.
- ✓ La atmósfera sea muy estable, es decir, sin turbulencias ni movimientos verticales del aire que puedan actuar como "lentes inestables", que se crean y se destruyen rápidamente, y que emborronan la imagen del objeto que estamos observando.
- ✓ No exista 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. 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, la mayoría.

Estas condiciones, y no por casualidad, se dan en los emplazamientos mencionados de Canarias, Hawái y Chile, y en otros repartidos por todo el mundo, aunque también tienen que estar bien comunicados y ser razonablemente accesibles.

La Humanidad siempre se ha sentido atraída e impresionada por el cielo estrellado, y la ciencia moderna hunde sus raíces tanto en la observación del firmamento como en el estudio de los fenómenos astronómicos. Nuestra curiosidad innata, estimulada por la grandiosidad del cielo nocturno, ha hecho que pudiéramos disfrutar de la fascinante belleza de la bóveda celeste al tiempo que la interrogábamos con todas nuestras dudas, preguntas y miedos... incesitamos mirar al cielo para saber quiénes somos!

El desarrollo de todas las civilizaciones ha estado ligado al estudio del firmamento, que ha sido determinante tanto para la navegación marítima como para el establecimiento de calendarios con fines agrícolas, por ejemplo. La observación del cielo ha permitido conocer la posición de la Tierra en la Vía Láctea, y al mismo tiempo descubrir que compartimos composición química con las estrellas. Nuestra posición en el Sistema Solar y los movimientos de la Tierra reflejados en la bóveda celeste forman parte también del conocimiento acumulado a través de la observación astronómica.

A día de hoy, lamentablemente, el 80% de la población mundial ha perdido ese contacto con el cielo nocturno, y si nos fijamos en las zonas más desarrolladas como Europa o Estados Unidos ese porcentaje es aún mayor. Estamos perdiendo ese patrimonio cultural e histórico común para toda la humanidad, y solamente tomando conciencia del problema con medidas efectivas contra la contaminación lumínica, podremos hacer que las generaciones venideras recuperen el maravilloso espectáculo de un cielo nocturno plagado de estrellas, planetas, nebulosas y galaxias.

Aunque desde luego no es la solución al problema de la contaminación lumínica, en los últimos años está proliferando mucho la oferta turística en zonas con riesgo de pérdida poblacional relacionada con la observación del cielo estrellado, lógicamente desde un aspecto recreativo. Cada vez es más difícil encontrar lugares con un cielo nocturno adecuado para la investigación científica y que reúnan unas condiciones sociopolíticas adecuadas con un acceso cómodo y seguro, razón por la que el uso de satélites y observatorios espaciales en órbita ha aumentado tanto en los últimos años.

Además de las normativas en desarrollo respecto al alumbrado público y a los sistemas de iluminación en general que tratan de proteger nuestros cielos nocturnos, los ecosistemas y la salud humana, por parte de organizaciones internacionales se ha elaborado un conjunto de normas y declaraciones que reflejan el derecho de todas las personas a disponer de cielos nocturnos libres de contaminación lumínica, como por ejemplo la "Declaración Universal de los Derechos Humanos de las Generaciones Futuras" que establece de forma expresa que las generaciones futuras tienen derecho a una Tierra indemne y no contaminada, o la "Declaración de la Palma" firmada por la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) y la UAI (Unión Astronómica Internacional), reconociendo literalmente 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. La contaminación lumínica también supone una amenaza directa para algunos de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de las Naciones Unidas (ONU).

Llegados a este punto, todo el mundo comprende y puede identificar el brillo artificial del cielo nocturno, pero ¿cómo se mide? Los sistemas más frecuentemente utilizados en astronomía y astrofotografía son las escalas Bortle y SQM. La primera se basa en una estimación del observador, con una componente subjetiva importante, y debe su nombre a John E. Bortle, un aficionado a la astronomía especializado en la observación de cometas. Esta escala mide la contaminación del cielo nocturno del 1 al 9, donde el 1 corresponde a cielos sin contaminación lumínica como los que se encuentran en grandes desiertos o en medio del océano, y el 9 corresponde a grandes núcleos urbanos inundados por iluminación artificial que apenas dejarían ver con dificultad algún planeta o estrella de magnitud 0 o negativa (Figura 11).

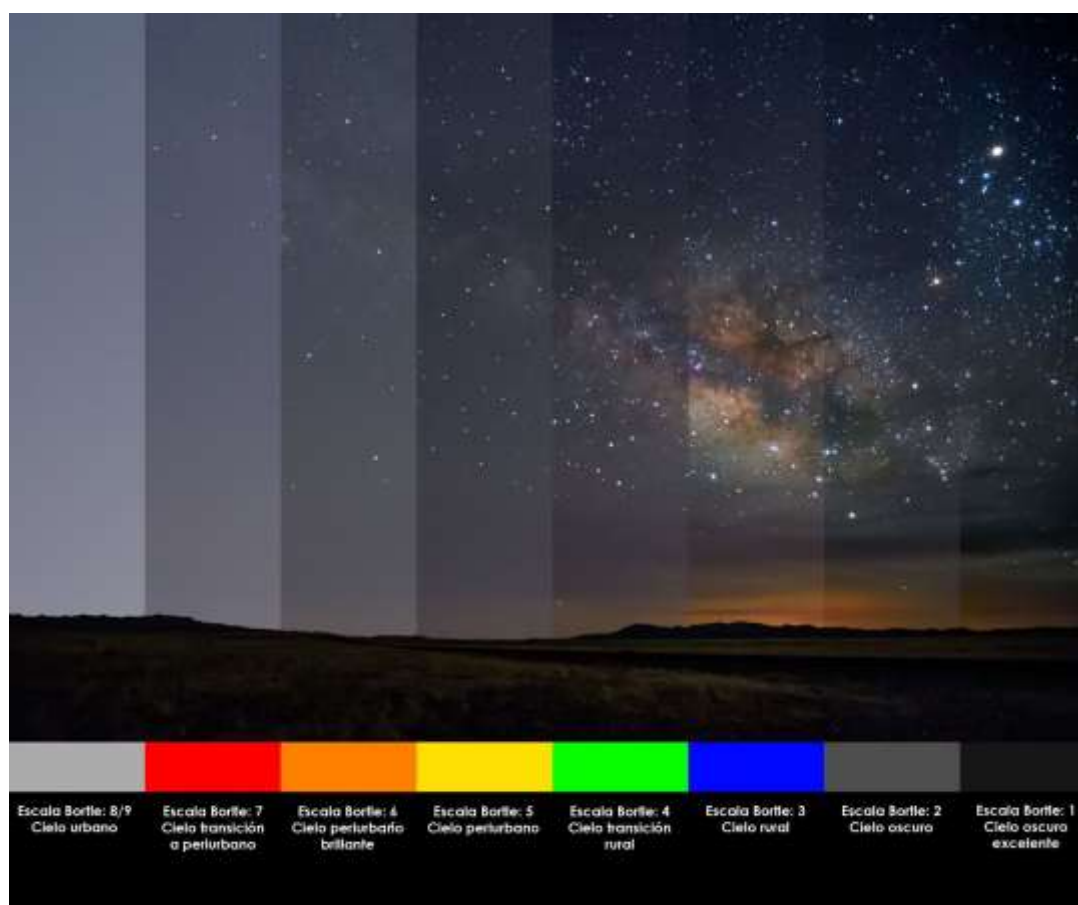


Figura 11: Escala Bortle. Fuente: <https://www.astroacademy.es/>

SQM (Sky Quality Meter), en cambio, es un dispositivo que mide directamente el efecto de la contaminación lumínica sobre el cielo nocturno (Figura 12). No es una estimación subjetiva, es algo parecido a un fotómetro que ofrece valores de magnitudes por segundo de arco cuadrado (MPSAS) en escala logarítmica. La escala SQM mide entre 16 y 22 MPSAS, siendo 16 el valor correspondiente a un cielo muy brillante, altamente contaminado lumínicamente o con una luna llena, mientras que el 22 corresponde a un cielo oscuro y profundo, sin contaminación lumínica.



Figura 12: SQM (Sky Quality Meter).

Fuente: <https://www.astroshop.es/fotometro/unihedron-fotometro-sky-quality-meter/p,20963>

Existen distintos modelos de medidores SQM, se diferencian principalmente en la cantidad de cielo que son capaces de abarcar. Los de tipo L, que son los más baratos, suelen abarcar una porción de cielo de 20°, mientras que los más avanzados y profesionales pueden llegar a abarcar 80°.

En el ámbito profesional, el fabricante griego "Pegasus Astro Co. Ltd" fabrica y comercializa el dispositivo denominado "Uranus Meteo Sensor", muy utilizado en observatorios astronómicos fijos y en hosting de telescopios. Ofrece mucho más que la medida de la oscuridad del cielo nocturno expresada en MPSAS, incluyendo medidas en la escala Bortle y una serie de variables meteorológicas. Este aparato cuenta con GPS, sensores de altitud, presión atmosférica, humedad, temperatura, punto de rocío, nubosidad y detección de fase lunar (Figura 13).



Figura 13: Uranus Meteo Sensor.

Fuente: <https://pegasusastro.com/products/uranus-meteo-sensor/>

En cuanto a la información disponible sobre el nivel de contaminación lumínica a escala global, existen varios mapas que pueden consultarse gratuitamente, y que muestran la verdadera dimensión de este problema. Uno de los mapas más conocidos y consultados es el "Light Pollution Map" (<https://lightpollutionmap.info>), que es un mapa mundial con estimaciones de calidad del cielo nocturno en escala Bortle y SQM, entre otros sistemas de medida. Esta aplicación utiliza también aproximaciones y estimaciones, por lo que puede haber pequeñas diferencias con valores concretos medidos en un lugar y momento determinados con instrumentos como SQM o Uranus. Sin embargo, "Light Pollution Map" se actualiza con mucha frecuencia, haciendo que los resultados que ofrece sean cada día más fiables y fidedignos (Figura 14).



Figura 14: Captura de información de Madrid ofrecida por "Light Pollution Map".

Fuente: <https://lightpollutionmap.info>

Contamos también con un reciente proyecto de origen español, dirigido por el astrofísico Alejandro Sánchez de Miguel, de la Universidad Complutense de Madrid, que representa un avance muy importante en el estudio de la contaminación lumínica, pues permite comprender con mayor detalle no solo su impacto sobre el medio ambiente, sino también sobre la salud de las personas, evidenciando una relación directa con los tipos de luminarias, su tecnología y su temperatura de color. Este proyecto, denominado "RALAN-Map EU", cuenta con un sitio web (<https://pmisson.users.earthengine.app/view/sdgsat-1-p-iberica>) que muestra un mapa de contaminación lumínica de la península ibérica, Islas Baleares, Islas Canarias y Archipiélago de Madeira.

Por último, existen algunas iniciativas muy interesantes para que cualquier ciudadano del mundo, viva donde viva, pueda colaborar en la estimación de la contaminación lumínica del cielo nocturno desde su propia casa, calle o barrio, requiriendo solamente unos medios básicos al alcance de cualquiera. Con esta información se compone un mapa mundial de contaminación lumínica en lugares específicos.

Una de estas iniciativas (proyecto "cuenta estrellas"), por ejemplo, ofrece la posibilidad de construir un sencillo artilugio con el que realizar una observación local para facilitar los datos al proyecto (https://fundaciondescubre.es/wp-content/uploads/2019/09/ESP_Star-Spotting-Experiment-Background-Material-B-1.pdf). Para colaborar, se entra en el sitio <https://www.spotteron.com/stjarnforsoket/auth/login> y se aporta la información necesaria, aunque también es posible entrar solamente para consultar gratuitamente todos los datos disponibles.

En la propia web puede leerse esta información acerca del proyecto:

"El proyecto CuentaEstrellas: The Star-Spotting Experiment creará un mapa único de la distribución y variabilidad de la contaminación lumínica, y generará conocimiento sobre cómo este método puede usarse para avanzar la ciencia. Al colaborar con el proyecto, los participantes aprenderán sobre el método científico, astronomía, sostenibilidad y planificación urbanística.

El proyecto CuentaEstrellas: The Star-Spotting Experiment ha sido creado por la organización sin ánimo de lucro Public & Science, el National Resource Center for Physics Education, la Universidad de Lund, la Universidad Kristianstad, la Agencia Nacional Espacial Sueca y los centros de ciencia House of Science y Umevatoriet. El proyecto está organizado con la colaboración de la Fundación Descubre, Esciencia, La Palma Research Centre y la Fundación para el Conocimiento Madrid en España, y la Universidad de Cork y el Trinity College en Irlanda + Natural History Museum, London, UK."

ASPECTOS SOCIALES

"Nunca sabremos el valor del agua hasta que el pozo esté seco"
Thomas Fuller (1608-1661), recopilador de proverbios, teólogo, escritor e historiador inglés

El desarrollo de la Humanidad ha venido acompañado por una alteración del medio ambiente y la contaminación creciente de su entorno. En concreto, cuando empezamos a

trabajar el bronce hace más de 5.600 años en el sureste de Europa, comenzó la verdadera contaminación ambiental en el sentido en el que la conocemos hoy, aunque la manipulación primero del cobre (5.000 a.C.) y posteriormente del hierro (1.200 a.C.) consolidaron esa incipiente metalurgia contaminante.

En cualquier caso, solamente se ha empezado a tomar conciencia del impacto de nuestras actividades industriales y metalúrgicas desde hace pocas décadas.

Estamos experimentando momentos convulsos a escala planetaria, sumidos en guerras y conflictos catastróficos, todo ello en un escenario de cambio climático antropogénico que no hace sino agravar y complicar la vida de las personas y del medio ambiente en general. Contemplamos en tiempo real la transformación y degradación de los hábitats debido en buena medida a la contaminación que las actividades humanas provocan a lo largo y ancho de todo el planeta, sus aguas, sus tierras y su atmósfera.

Una de las formas de polución más agresivas, por lo rápido que avanza, es la contaminación lumínica, que crece anualmente por encima del 2%. Algunos estudios científicos estiman que durante los últimos 25 años esta contaminación ha crecido hasta valores próximos al 50%.

Es un tipo de contaminación más sutil que otras de carácter químico o material. Puede parecer menos notable, no huele ni se puede tocar, pero sus efectos sobre el equilibrio de los ecosistemas, para nuestra salud y para el medio ambiente en general son alarmantes.

Considerar sus efectos nocivos de forma correcta permitirá afrontarla de forma similar a como se hace con la contaminación de los ríos, mares y océanos, los fenómenos meteorológicos extremos, la gestión de residuos o la expulsión de gases contaminantes a la atmósfera.

En el caso de la contaminación lumínica, el elemento contaminante no es un objeto o sustancia ajeno al medio que altera sus condiciones naturales. En este caso el agente contaminante es la luz artificial y el medio afectado es la noche, con algunas características especiales que lo diferencian de otros contaminantes, como su expansión en todas las direcciones y a la mayor velocidad posible (lógicamente a la velocidad de la luz).

Sus fuentes emisoras contaminantes son muy diversas, aunque todas comparten la característica de ser alumbrados exteriores. Tenemos los alumbrados de calles, avenidas, caminos y carreteras con sus farolas de todo tipo y potencia, también de zonas que no son de tránsito, como parques, zonas deportivas y recreativas. A todos estos lugares hay que sumar el alumbrado de tipo industrial, fábricas, factorías e igualmente el de tipo ornamental o decorativo como comercios, estatuas y edificios.

En la historia de la Humanidad se produjo un punto de inflexión, respecto a la contaminación lumínica, con la llegada de la Revolución Industrial durante la segunda mitad del siglo XIX. El crecimiento demográfico y la generalización de la electricidad contribuyeron a que en los países más desarrollados la noche dejó de ser lo que hasta ese momento era y que continuó siendo en las zonas menos desarrolladas y habitadas: ambientes oscuros y profundos con cielos estrellados y sonidos característicos de las aves nocturnas y otros animales cuya vida se desarrolla en la oscuridad.

Cuando visitamos una depuradora o vamos a un vertedero notamos inmediatamente el hedor y el aspecto repugnante de la basura, y nadie tiene que explicarnos la conveniencia

de eliminar esa polución de nuestras vidas. En cambio, la iluminación nocturna de nuestros pueblos y ciudades, de nuestras infraestructuras y de todos los escenarios de espectáculos, ocio y fiestas, se percibe como un síntoma de progreso y bienestar, entendiéndose como un motivo de alegría, seguridad y progreso incluso cuando es excesiva.

Ahí radica uno de los mayores problemas a la hora de afrontar la contaminación lumínica, que no se percibe como un problema sino como un signo de prosperidad y riqueza. Las estrategias para combatirla no sólo pasan por diseñar sistemas luminosos más eficientes en términos de consumo y que iluminen básicamente aquello para lo que se diseñan y no otros elementos periféricos, sino que hay que realizar una labor pedagógica para que la sociedad en general comprenda la magnitud y el alcance de este tipo de contaminación (Figura 15).



Figura 15: Fotografía de la Península Ibérica obtenida desde la Estación Espacial Internacional (ISS040-E-081320, 26-7-2014). Credito: NASA.

Fuente: Red española de estudios sobre la contaminación lumínica (<https://guaix.fis.ucm.es/reecI/node/17>)

Para desarrollar esa conciencia colectiva que identifique y haga frente a la contaminación lumínica hace falta involucrar a todos los agentes sociales, desde los económicos a los industriales, pasando por los científicos, políticos y educativos. Es necesario comprender que la iluminación artificial nocturna es necesaria por motivos de seguridad y movilidad, facilitando desplazamientos y actividades cuando nuestro Sol queda por debajo del horizonte, pero esa iluminación debe ser "sostenible" y respetuosa con el medio ambiente, la fauna nocturna, la salud y el descanso de las personas, y con el equilibrio de los ecosistemas, además de eficiente en términos de consumo y bien diseñada para el fin concreto a que se destina.

Sin embargo, conforme los sistemas de iluminación sean más eficientes, más baratos y de acceso rápido y de bajo coste, se corre el riesgo de aumentar la iluminación global nocturna, no sólo en grandes ciudades sino en todo el planeta. Esta será una cuestión a tener muy en cuenta para controlar la contaminación lumínica en un futuro inmediato.

Actualmente se está generalizando el uso de lámparas de tecnología LED, mucho más eficientes en cuanto a consumo, lo que extiende su uso y aumenta los niveles de luz blanca, mucho más agresiva y dañina para el medio ambiente nocturno y sus ecosistemas.

A diferencia de lo que ocurre con otros tipos de contaminantes, la implantación de normativa regulatoria, baremos y controles respecto a la contaminación lumínica es muy incipiente aún. Los criterios científicos y las actuaciones de los Órganos legislativos son imprescindibles y pueden verse respaldados si la ciudadanía en general toma conciencia social de este importante problema.

La alteración de la vida animal y vegetal a veces pasa desapercibida por mucha gente para la que no parece un asunto demasiado relevante. Muchas especies que necesitan un periodo diario sin luz, es decir, necesitan una noche no iluminada, han modificado sus ciclos vitales. Les hemos robado la noche, y ahora su comportamiento disfuncional está alterando el funcionamiento y estructura de los ecosistemas. Muchos animales nocturnos ven aumentada su exposición a depredadores, y otros muchos no pueden desarrollar sus hábitos e instintos de forma natural en un entorno permanentemente iluminado.

Aunque no lo parezca, una de las especies animales más sensibles a la contaminación lumínica es la nuestra. Por un lado altera nuestro reloj biológico y por otro altera la síntesis de la melatonina, lo que genera enfermedades, algunas de ellas recogidas en las normativas sobre riesgos laborales para el personal que trabaja a turnos, por ejemplo.

Entre las principales medidas que se están empezando a tomar para implantar sistemas de iluminación más racional y sostenible, están el apantallamiento de las luminarias que evite la pérdida de luz en horizontal y hacia la parte superior, el uso de luz en el rango "cálido" del espectro visible, con temperaturas de color por debajo de los 3.000 K, y la utilización de reguladores de intensidad, sensores de movimiento y temporizadores.

Otras fuentes de contaminación que también suelen pasar desapercibidas, como ocurre con la contaminación lumínica, son la creciente saturación de satélites artificiales en nuestros cielos, que por la noche empiezan a enturbiar nuestro maravilloso firmamento, y la contaminación radioeléctrica cuyos efectos aún no se conocen con el detalle suficiente.

Desde el punto de vista de nuestra actividad social, incluyendo el mundo de la publicidad y marketing, que tan estrecha relación tienen con la iluminación artificial, se están proponiendo alternativas como potenciar la organización de eventos en entornos naturales o en espacios urbanos abiertos, donde la luz del Sol pueda sustituir, incluso con ventaja, a los escenarios con luces artificiales. También está proliferando el patrocinio de proyectos medioambientales y la utilización de materiales publicitarios innovadores y sostenibles que interactúen con la luz natural, como tintas especiales que brillen o cambien de color bajo la luz del Sol. Estos nuevos materiales pueden facilitar una creatividad añadida que no existe con la utilización de luz artificial.

En esta misma línea, se están tomando medidas encaminadas a eliminar del mercado los LED blancos, que son altamente contaminantes para la salud humana, los ecosistemas y la observación astronómica, favoreciendo el uso de LED "cálidos" con baja temperatura de color.

Igualmente, se está promoviendo la colaboración con Organismos Públicos y organizaciones no gubernamentales, para la implantación de un distintivo de iluminación sostenible análogo al que se usa para certificar el comercio justo o la pesca sostenible. Este distinti-

vo serviría para guiar al ciudadano, a las empresas y a las Administraciones Públicas hacia el uso de lámparas y luminarias respetuosas con el medioambiente, la salud humana o las observaciones astronómicas.

EFFECTOS SOBRE LA SALUD HUMANA

"Los virus de computadoras deberían ser considerados como vida. Pienso que esto dice algo acerca de la naturaleza humana, que la única forma de vida que hemos creado es puramente destructiva. Hemos creado una forma de vida a nuestra imagen y semejanza"

Stephen W. Hawking (1942-2018), físico teórico, cosmólogo, astrofísico y divulgador científico inglés.

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

La melatonina es una hormona que produce nuestro cuerpo en función de la cantidad de luz que nos rodea. Nuestra naturaleza es la de animales diurnos, y como tales nuestro cuerpo está diseñado para despertarse y mantener su actividad durante las horas de luz del día, y "desconectar" diversas funciones para dormir durante las horas de oscuridad nocturna. En este proceso natural diario, la melatonina cumple una función esencial.

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 alteración de la síntesis de melatonina. Estos impactos pueden trastornar nuestro ciclo de sueño, generando a corto plazo problemas de insomnio, fatiga o estrés, y a más largo plazo aumentando el riesgo de padecer algunas enfermedades como diabetes o cáncer.

La primera de las dos consecuencias mencionadas se refiere al reloj interno que posee nuestro organismo para regular una serie de parámetros biológicos variables en función del momento del día (noche o día). Estas fluctuaciones diarias se denominan ciclos circadianos, en los que aumentan o disminuyen los niveles de ciertas hormonas como la mencionada melatonina (aumentando en ausencia de luz), que facilita el descanso nocturno, o el cortisol que aumenta durante el día preparando al cuerpo para su actividad diurna.

Cuando ese reloj biológico interno pierde el sincronismo con el ciclo diario día-noche (luz natural y oscuridad), que básicamente llega a nuestro cerebro a través de la vista, el funcionamiento normal del cuerpo humano se altera notablemente. Una excesiva exposición a la luz artificial durante la noche "engaña" al cuerpo impidiendo que nuestro reloj biológico se sincronice adecuadamente con el ritmo día-noche, mandándole señales de que no es momento de descansar (dormir), o rebajar la actividad metabólica diurna, lo que a medio y largo plazo afecta negativamente a la salud de las personas.

La alteración del ciclo natural luz-oscuridad por razones laborales o por el uso de luz artificial durante la noche (pantallas de ordenador, móviles, intrusión lumínica...) y la consiguiente pérdida de la sincronización con nuestro reloj interno, provoca que nuestro cuerpo reciba señales de vigilia descontrolando nuestros ciclos circadianos, fenómeno conocido como "cronodisrupción", directamente relacionado con un aumento de alteraciones

metabólicas que incrementan el riesgo de padecer hipertensión, diabetes, obesidad y elevados niveles de colesterol en sangre, así como de sufrir enfermedades cardiovasculares, deterioro cognitivo, trastornos afectivos y envejecimiento acelerado.

La segunda consecuencia importante relacionada con la presencia de luz artificial durante la noche, además de la alteración de nuestro reloj biológico, es la alteración de la síntesis de melatonina. Esta hormona que desempeña importantes funciones en nuestro organismo, segregada en la glándula pineal o epífisis cerebral, se encarga de transmitir el mensaje de nuestro reloj biológico interno al resto del organismo, siendo un importante antioxidante que 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 los 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, pues 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 (Figura 16).

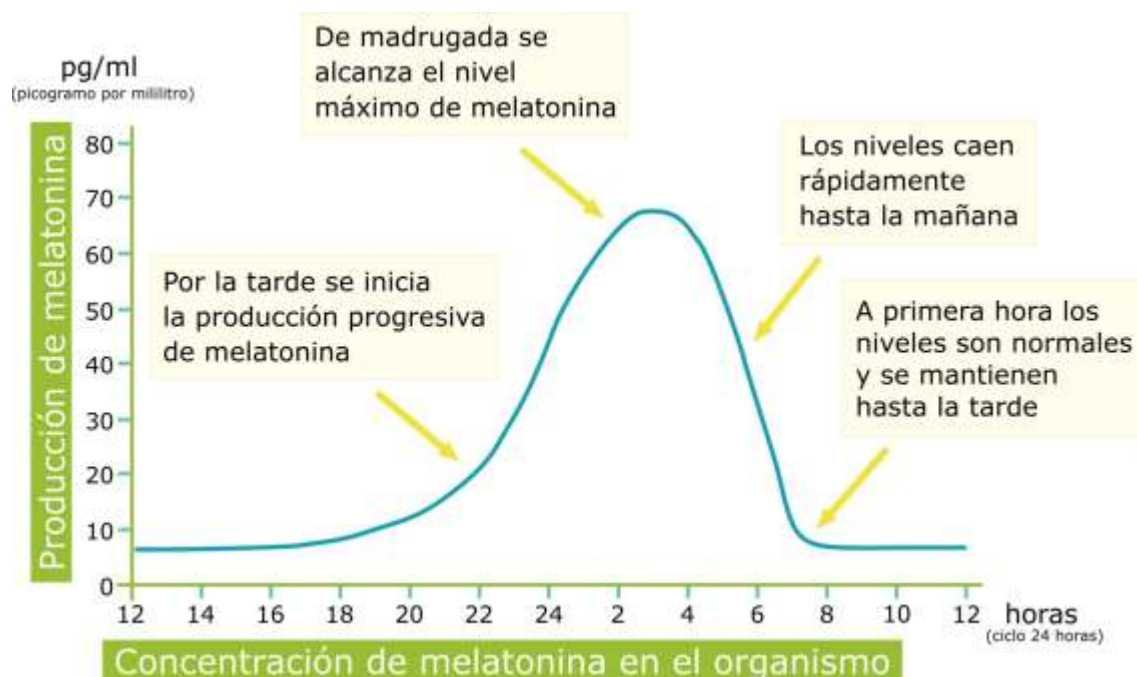


Figura 16: Producción de melatonina durante el día. Fuente: <https://www.astroacademy.es/>

En esta misma línea, algunas 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 estudios han demostrado una correlación positiva entre la exposición a elevados niveles de luz artificial y los cánceres de próstata y tiroides, y también de mama, sobre todo en condiciones de altas emisiones en la parte azul del espectro.

La legislación en materia laboral ya contempla específicamente las condiciones especiales de los trabajos a turnos, dotándolos de unas condiciones distintas de las de los trabajadores que desempeñan sus tareas en horarios normales de oficina, con especial atención en materia de salud laboral y prevención de riesgos laborales. Entre los colectivos que desempeñan sus funciones a turnos, pueden destacarse determinadas unidades de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado, funcionarios de Centros Penitenciarios, personal sanitario, Meteorología, control aéreo, y otros muchos de los que depende el funcionamiento de servicios esenciales que deben mantenerse activos durante las 24 horas del día, incluidas las noches.

REPERCUSIONES MEDIOAMBIENTALES

"Lo que estamos haciendo a los bosques del mundo, no es sino el reflejo de lo que nos hacemos a nosotros mismos y a los otros"

Mahatma Gandhi (1869-1948), político, pensador, abogado y pacifista hinduista indio

La noche no es un periodo del día absolutamente oscuro, sin luz. De forma natural la Luna, estrellas, galaxias, nebulosas y la propia Vía Láctea iluminan el entorno nocturno con diferentes intensidades, moldeando la evolución de las formas de vida terrestre, animales y vegetales. La vida aprendió a guiarse por el brillo de esos objetos celestes, y para muchos animales el cielo nocturno natural señala cuándo comer, dormir, cazar, migrar e incluso cuándo reproducirse. Se estima que la mitad de todas las especies de la Tierra comienzan sus actividades "diarias" al atardecer, y muchas de ellas las ajustan al ciclo lunar.

La intrusión de luz artificial durante la noche en los ecosistemas acaba alterando estos ciclos naturales, haciendo que muchas especies modifiquen sus ritmos biológicos o incluso que lleguen a desaparecer del entorno o a verse gravemente amenazadas. Podría ser el caso de las tortugas marinas, que desovan en determinadas playas del mundo, y que al eclosionar sus huevos, el primer instinto de las crías es dirigirse hacia los puntos de luz, ya que están preparadas para identificar estos puntos de luz que en un entorno natural corresponderían a la luz de la luna reflejada en el mar. Sin embargo, actualmente el resultado suele ser bien distinto, y muchas crías de tortuga marina mueren al cabo del año confundidas por las luces artificiales de las ciudades.

Con las variaciones típicas climáticas, estacionales y de latitud, la vida en la Tierra ha estado siempre ligada, desde su aparición, a los ciclos de luz y oscuridad que la rotación del planeta ha producido diariamente. Todos los seres vivos se han desarrollado y han evolucionado bajo ese patrón más o menos regular, adaptando al mismo todas sus funciones

biológicas esenciales, como la búsqueda de alimentos, la reproducción, la migración o floración, y su propio metabolismo. Sin embargo, después de miles de millones de años siguiendo esa pauta diaria, la contaminación lumínica generada por la actividad de los seres humanos que en los últimos años ha irrumpido con fuerza a lo largo y ancho del planeta, ha roto esos patrones cíclicos y regulares que nos han acompañado desde siempre.

Se han documentado impactos biológicos en prácticamente todos los grupos taxonómicos del árbol de la vida, lo que convierte a la luz artificial nocturna 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. Se pueden mencionar cuatro tipos de impactos básicos:

- La iluminación artificial, incluso a muy bajas intensidades, suprime la secreción de hormonas muy importantes como la melatonina.
- 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. De manera específica afecta a todas las especies que desarrollan su vida activa total o parcialmente en un medio nocturno, entre las que podemos encontrar mamíferos, reptiles, anfibios, aves, peces, invertebrados y plantas.

La pérdida de biodiversidad y el desequilibrio causado en los ecosistemas (desorientación, trastornos de la rutina, desplazamiento a otros hábitats, desajustes en la cadena trófica, mortalidad...) asociados a la pérdida o reducción importante de la oscuridad nocturna, suponen una seria amenaza para la fauna, causando una mortalidad directa en especies con hábitos nocturnos, con datos tan escalofriantes como la pérdida del 75% de los insectos durante los últimos 25 años. Para algunos de ellos como las luciérnagas (insecto bioluminiscente) el exceso de luz artificial nocturna impide que se reconozcan entre sí para tener encuentros sexuales, lo que impide su reproducción y bloquea su sistema de comunicación. En el caso de otros insectos como las polillas, el exceso de luz les impide ser capaces de ver y por lo tanto de evadir a los depredadores, por lo que son más vulnerables a ser devorados por los murciélagos; y el escarabajo pelotero, por citar otro insecto, se desorienta cuando la contaminación lumínica le impide ver las estrellas.

Otro caso paradigmático ya mencionado es el de las tortugas marinas que viven en el océano, pero cuyas crías rompen el cascarón por la noche en la playa. Las crías buscan el mar detectando el horizonte brillante sobre el océano, pero las luces artificiales nocturnas acaban desorientándolas haciendo que se dirijan hacia tierra. Desgraciadamente, muchas acaban deshidratadas, engullidas por otros animales, o atropelladas.

Se estima que casi todos los marsupiales y roedores son nocturnos, así como el 3% de las aves, de las que la mitad son rapaces. Algo más de la mitad de las aves migratorias realizan sus desplazamientos por la noche y la mayoría de los anfibios (ranas, sapos, salamandras, tritones...) tienen hábitos nocturnos, escondiéndose durante el día, al igual que lagartijas, gekkos y algunas especies de serpientes y cocodrilos. El resplandor de las luces artificiales impacta en los hábitats de los humedales donde viven anfibios como las ranas y los sapos, cuyo croar nocturno, que es parte del ritual de reproducción, se ve interrumpido, comprometiendo su actividad reproductiva y reduciendo sus poblaciones.

Respecto a las aves nocturnas, tanto las que migran como las que cazan, se guían por la luz de la Luna y de las estrellas. Las luces artificiales pueden desviarlas de su curso hacia los peligrosos paisajes nocturnos de las ciudades. Cada año, millones de aves mueren al chocar con torres y edificios innecesariamente iluminados.

Muchas aves migratorias, como patos, gansos, lavanderas y pájaros cantores de todo tipo, así como aves marinas, especialmente las que migran de noche, se ven especialmente expuestas al incremento de la contaminación lumínica. Las migrantes de larga distancia, como la reinita estriada (*Setophaga striata*), la buscarla colicorta asiática (*Urosphena squameiceps*) y el chorlito asiático grande (*Charadrius veredus*), pueden iniciar y concluir su migración en zonas con niveles relativamente bajos de contaminación lumínica, pero durante su migración pueden sobrevolar áreas de intenso desarrollo urbano donde sufren elevados niveles de luz artificial.

La luz artificial nocturna también puede afectar al calendario migratorio y a otros comportamientos estacionales, al alterar los relojes biológicos. Por ejemplo, las aves pueden confundir la luz artificial nocturna con períodos más largos de luz diurna. Puede ocurrir que las aves que sufren la contaminación lumínica en sus áreas de invernada inicien la migración antes que las especies que no están expuestas a la luz artificial, y la migración a destiempo puede resultar problemática si, durante el tránsito o en el lugar de destino, no están disponibles las condiciones ambientales y recursos necesarios.

Estos comportamientos antinaturales inducidos por la luz pueden hacer que las aves migratorias pierdan sus reservas de energía, lo que las pone en riesgo de agotamiento, depredación y colisión mortal con edificios y otras infraestructuras artificiales.

Incluso en el mar el efecto de la contaminación lumínica puede ser desastroso. Por ejemplo, en la costa noreste de Australia, en Queensland, se encuentra la Gran Barrera de Coral, que es el ser animal viviente más grande de nuestro planeta, con más de 130 especies distintas de coral que desovan a la luz de la Luna. Las luces artificiales nocturnas próximas pueden hacer que las fases lunares queden ocultas para el coral, lo cual hace perder el sincronismo de su reloj biológico, alterando completamente sus ritmos naturales.

Otras víctimas acuáticas del exceso de iluminación artificial nocturna presente en las zonas costeras (barcos, puertos, paseos marítimos, casas próximas a la costa...), como los peces payaso, no logran reproducirse adecuadamente, ya que necesitan oscuridad para

que eclosionen sus huevos. La luz artificial provoca que algunos peces se mantengan activos durante la noche, saliendo más rápido de sus escondites durante el día y aumentando su exposición a los depredadores. Aparte de los peces, otros animales que viven en estas zonas, como los crustáceos, también sufren las consecuencias de la contaminación lumínica que ya afecta a muchos ecosistemas costeros y marinos, provocando cambios negativos en el desarrollo de distintas especies animales, al igual que en las interacciones entre ellos, con efectos incluso a nivel molecular.

CONCLUSIONES

"El mundo no será destruido por las personas que hacen el mal, sino por las que se sientan a ver lo que pasa"
Albert Einstein (1879-1955), físico alemán y Premio Nobel de Física en 1921

Aunque resulte sorprendente, la contaminación lumínica es uno de los problemas ambientales más sencillos de solucionar, bastaría con apagar las luces artificiales y desaparecería por completo. Pero a la vez también es uno de los más complicados, ya que los seres humanos precisamos de luz artificial para desarrollar nuestra vida. El objetivo no es apagar las ciudades, sino iluminarlas de una forma más sostenible.

Posiblemente, el mayor problema a la hora de abordar la contaminación lumínica es la falta de conciencia, por parte de la mayoría de las personas, de que es precisamente un problema.

El derroche de luz artificial se toma muchas veces como una señal de prosperidad, de avance, de progreso, de belleza, y en ocasiones también de seguridad. Los seres humanos somos muy dados a festejar nuestras celebraciones, tanto religiosas como laicas, con mucho ruido y luces que nos transmiten una sensación de euforia, de bienestar y de alegría.

Para mucha gente el único reparo a tanta luz proviene de su coste económico, lo que les lleva a buscar sistemas mas eficientes y de menor consumo, pero no que iluminen menos. Sólo con una serie de ajustes realizados sobre el alumbrado público se obtiene un increíble impacto positivo sobre la cantidad de luz vertida al medio ambiente, y por tanto sobre el nivel de contaminación lumínica.

Las zonas iluminadas durante la oscuridad de la noche son cada vez más extensas, mucho más allá de las zonas urbanas, alterando gravemente los ecosistemas, la vida de muchos animales y plantas, y los propios ciclos biológicos de los seres humanos.

La contaminación lumínica nos aísla del Universo en el que vivimos, cada vez es más difícil levantar la mirada y encontrarnos con un cielo estrellado plagado de planetas y estrellas, de galaxias y cúmulos de estrellas. Se está convirtiendo en una pesadilla mortal para infinidad de animales que pierden los ritmos naturales, y para el medioambiente en general.

En general, en mayor o menor medida, cada vez más gente toma conciencia de la contaminación de las aguas y de las tierras, de la basura y de la gestión de residuos de todo tipo, pero la contaminación lumínica, y también la acústica, suele pasar desapercibida, complicando su control.

Cuando encontremos un equilibrio entre la necesaria iluminación nocturna ligada al desarrollo humano y social, y el respeto por la naturaleza en toda su extensión, podremos conciliar nuestras necesidades básicas con las del resto de compañeros de viaje de esta maravillosa nave espacial que es el planeta Tierra, que nos cuida y protege llevándonos por el espacio a través del Cosmos.

La coordinación de 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, está consiguiendo una mayor toma de conciencia del problema e implementar medidas científicas, técnicas y legislativas para paliar sus efectos.

Entre esas medidas está 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.

Respecto a las medidas a tomar por parte de las autoridades locales (provincias, municipios, comarcas, áreas metropolitanas y mancomunidades), algunas de las cuales ya están en marcha, se pueden mencionar la prevención de la emisión de luz dirigida hacia el cielo, evitando los ángulos de emisión superiores a los 70°, o la adecuación de la luz y las zonas iluminadas en función del tipo de actividad que se desarrolle, así como su duración, adaptándola a lo que necesitamos ver cuando necesitamos verlo.

También corresponde a los poderes públicos la realización de estudios acerca del uso y la cantidad de luz utilizada, lo que permitiría emplear en el alumbrado público lámparas que minimicen la contaminación lumínica y sus impactos. Para ello, se debería restringir la emisión de la luz a únicamente la que es visible por el ojo humano (entre 400 nm y 700 nm) y priorizar lámparas que emitan en colores cálidos, con temperaturas de color por debajo de los 3.000 K, como por ejemplo las lámparas de vapor de sodio de alta y baja presión, o bien las lámparas LED tipo PC-ámbar.

Igualmente, se debería promover el uso de técnicas de iluminación inteligente, o smart-lighting, que permitan reducir la intensidad y los tiempos de funcionamiento de las luces, así como prestar atención al diseño de las luminarias para evitar que se emita luz artificial hacia el hemisferio superior. 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.

Solamente deberían usarse lámparas que emitan la luz dentro del rango visible del espectro que, como se ha señalado, es la única luz que pueden percibir nuestros ojos. No tiene ningún sentido utilizar lámparas que emitan luz en longitudes de onda que no sean sensibles para el ojo humano, como por ejemplo las lámparas fluorescentes. Y, entre las lám-

para que emiten luz dentro del espectro visible, hemos de escoger aquellas que tienen una menor temperatura de color, y que por tanto emiten luz de mayor longitud de onda (naranja-rojo) frente a las lámparas que emiten luz de menor longitud de onda (azul) y mayor temperatura de color.

La luz blanca brillante que emiten muchos de los puntos de luz 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 (Figura 17).

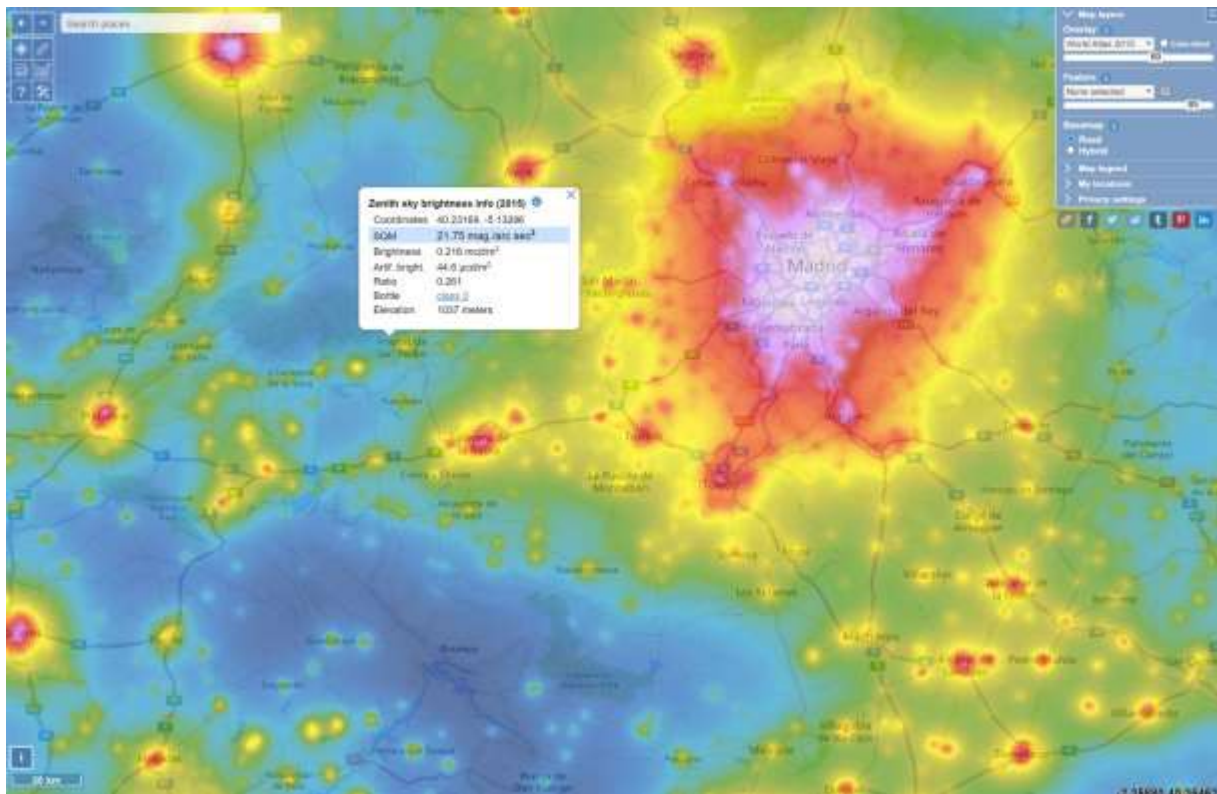


Figura 17: Contaminación lumínica.

Fuente: "Light Pollution Map" (<https://lightpollutionmap.info>)

Desde el punto de vista de la transferencia de conocimiento científico a la sociedad, es importante que las autoridades públicas promuevan y apoyen decididamente campañas educativas (especialmente en las primeras etapas de formación) y programas de concienciación y sensibilización sobre la contaminación lumínica, utilizando todos los canales y formatos disponibles.

En cuanto a la normativa existente en España, principalmente está orientada a limitar el tipo de lámpara que debe utilizarse con el fin de minimizar las longitudes de onda más dañinas, controlar los niveles de iluminación, limitar el horario para evitar el despilfarro energético y evitar el flujo luminoso hacia el hemisferio superior que tanto contribuye al aumento de la contaminación lumínica (brillo artificial del cielo nocturno e intrusión lumínica). A diferencia de Italia y Francia, que son los países europeos que cuentan con las leyes de protección del cielo oscuro más avanzadas del mundo, en nuestro país aún no

tenemos una ley estatal de contaminación lumínica, aunque algunas CC.AA. han promulgado leyes como la Ley 15/2010 de 10 de diciembre, de prevención de la contaminación lumínica y del fomento del ahorro y eficiencia energéticos derivados de instalaciones de iluminación de la Comunidad Autónoma de Castilla y León, o el Decreto 37/2025, de 11 de febrero, de la Comunidad Autónoma de Andalucía, por el que se aprueba el Reglamento de protección frente a la contaminación lumínica en Andalucía.

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 ese futuro decreto estatal.

Un aspecto importante que no debe olvidarse es que cuando hablamos de problemas ambientales, la legislación de un país es el reflejo de la conciencia y del compromiso social que tiene sus población. Cuanto mayor sea esta, mayor será la presión que se ejerce a nivel político y legislativo. Una normativa adecuada es el resultado de un compromiso político y científico, y 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. 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.

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.

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 (Figura 18). 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 en 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.



Figura 18: Contaminación lumínica con la estación de Príncipe Pío (Madrid) en primer plano. Fotografía tomada desde el Templo de Debod en 1981, con otras cuatro fotos de la Luna superpuestas en el mismo fotograma. Imagen: Julio Solís García

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

REFERENCIAS Y CONSULTAS

- <https://luminica.mma.gob.cl/que-es-la-contaminacion-luminica/>
- https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/contaminacion_luminica.html
- <https://www.csic.es/es/cultura-cientifica/libros-de-divulgacion/coleccion-que-sabemos-de/la-contaminacion-luminica>
- <https://www.iac.es/es/observatorios-de-canarias/proteccion-del-cielo/contaminacion-luminica>
- <https://www.greenglobe.es/contaminacion-luminica/>
- <https://www.astroacademy.es/contaminacion-luminica-que-es-como-medirla-como-solucionarla/>

- <https://www.lightpollutionmap.info/>
- <https://pmisson.users.earthengine.app/view/sdgsat-1-p-iberica>
- <https://www.uv.es/salvemlanit/Documents/CLmadrid.pdf>
- <https://darksky.org/app/uploads/2023/10/DarkSky-Light-Pollution-Can-Harm-Wildlife-Spanish-07-2023-1.pdf>
- <https://haciaelespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=1330>
- <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/los-crecientes-efectos-de-la-contaminaci%C3%B3n-lum%C3%ADnica-en-las-aves-migratorias>
- <https://www.globalfactor.com/contaminacion-luminica-la-peligrosa-luz-que-amenaza-la-biodiversidad/>
- <https://guaix.fis.ucm.es/reecl/node/17>
- <https://www.caha.es/CAHA/nohayalmeriasincielo/>
- **Grandes telescopios ópticos, del catalejo al telescopio espacial James Webb** - Revista Digital de ACTA nº 110
https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/110001.pdf
- **Telescopio espacial James Webb** - Revista Digital ACTA nº 122
https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/122001.pdf

(Para comentarios y observaciones al autor: caronte@acta.es)