

COLABORACIONES EN CIENCIAS DE LA NATURALEZA

LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA. EFECTOS, RETOS Y SOLUCIONES

“La reducción de la contaminación lumínica ahorra dinero y energía y, sin embargo, no lo hacemos por puro desconocimiento, pereza y desinterés”

“Lo bueno de la contaminación lumínica es que cuando se deja de contaminar, el problema desaparece a la velocidad de la luz”

Jordi Busqué, astrofísico.

La contaminación es uno de los problemas medioambientales más preocupantes. La presencia de sustancias tóxicas en la atmósfera y las emisiones sonoras están relacionadas con diversos problemas de salud, pero hay un tipo de contaminación que pese a su creciente intensidad es mucho menos evidente, la *contaminación lumínica*. Hasta ahora, este tipo de contaminación se relacionaba sobre todo con un impedimento para la astronomía, ya que la gran intensidad de luz que “generan” las ciudades dificulta observar el cielo nocturno con nitidez [1]. Pero más allá de esos problemas, la luz artificial también puede tener efectos negativos sobre la biodiversidad, los hábitats nocturnos e incluso nuestro propio bienestar. Por eso es cada vez más urgente combatir la *contaminación lumínica* [2].

A finales de 2015, Año Internacional de la Luz, comenzó la última iniciativa para lograr este reto. Dentro del programa marco de investigación Horizonte 2020, se ha planteado el proyecto *STARS4ALL*, que pretende concienciar a la sociedad para mejorar la preservación de los paisajes nocturnos europeos e informar acerca de los problemas derivados de la contaminación lumínica. El proyecto *STARS4ALL* también pretende alertar sobre el derroche energético, monitorizar la contaminación lumínica mediante la red *Cities at Night* o fomentar el uso de la aplicación *Loss of the Night*, para que podamos disfrutar en el futuro de más cielos oscuros [3].

La contaminación lumínica es un fenómeno que se lleva estudiando desde principios del siglo XX, pero ha cobrado mayor relevancia en las últimas décadas. Su origen es la iluminación artificial, que ha modificado las condiciones naturales nocturnas.

Los países desarrollados fomentan el desarrollo de un “bienestar social” que provoca un consumo energético desproporcionado. La generación de energía necesaria para satisfacer esta demanda causa serios problemas ambientales como son el efecto invernadero antropogénico y el calentamiento global o la lluvia ácida, pero además, es la responsable final de la contaminación lumínica, consecuencia del abuso en el consumo de energía eléctrica. Este tipo de contaminación, que ha pasado más desapercibida para la sociedad, se define como *la emisión directa o indirecta hacia la atmósfera de flujo luminoso procedente de fuentes artificiales, en distintas intensidades y/o rangos espectrales*.

Desde los orígenes de la vida, los seres vivos han adaptado sus ritmos biológicos a los ciclos de cambio de estaciones y la alternancia entre día y noche. La contaminación lumínica que provoca el ser humano amenaza con alterar el ciclo día-noche, al eliminar el periodo nocturno. Aunque sus consecuencias no son conocidas con precisión, se sabe que este exceso de luz influye negativamente, tanto en los seres vivos como en la salud humana.

Cuanto más desarrollado está un país, mayor es su consumo energético y grado de iluminación, y más afectado se ve por la contaminación lumínica, como puede comprobarse observando una foto nocturna del planeta. En la Figura 1 se observa claramente que las zonas más

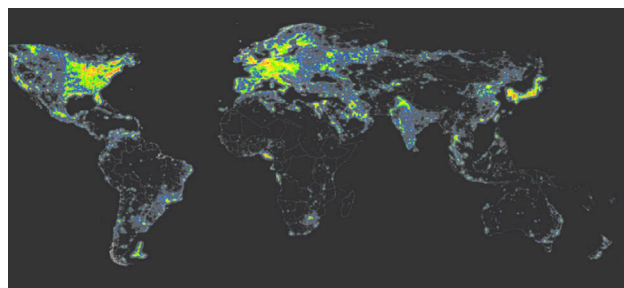


Figura 1. Vista nocturna del Planeta.

Fuente: www.astroingeo.org.

iluminadas, es decir, las más contaminadas, son Norteamérica, Europa y Japón.

Con frecuencia, la fuente de luz no es proporcionada para la realización de las actividades previstas en la zona donde se han instalado los focos luminosos, tratándose, por tanto, de una iluminación inadecuada que produce un consumo energético y económico excesivo. Aunque la iluminación exterior aporta indudables beneficios, en cuanto a seguridad, movilidad o animación de lugares de interés, como contrapartida provoca grandes costes y perjuicios que se deben minimizar. El objetivo no es dejar a las poblaciones a oscuras, o con una iluminación insuficiente, sino iluminarlas adecuadamente de acuerdo con su uso y necesidades reales. Una racionalización de la iluminación ambiental permite una reducción de la contaminación lumínica y un mayor respeto por el medio ambiente, conciliando los intereses de la actividad humana nocturna con el mantenimiento del paisaje nocturno.

EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Dispersión hacia el cielo

Es la desviación de la luz en todas direcciones, resultado de su interacción con moléculas del aire y partículas en suspensión (humo, polvo, etc.). La forma más conocida de esta dispersión son los típicos halos luminosos que rodean a las grandes ciudades y que pueden verse a centenares de kilómetros de distancia (Figura 2).

Intrusión lumínica

Aparece cuando se emite luz en direcciones que exceden el área donde es necesaria, invadiendo zonas circundantes. Es un fenómeno muy frecuente en áreas urbanas donde, la luz artificial no deseada procedente de la calle se introduce en viviendas privadas, provocando una pér-

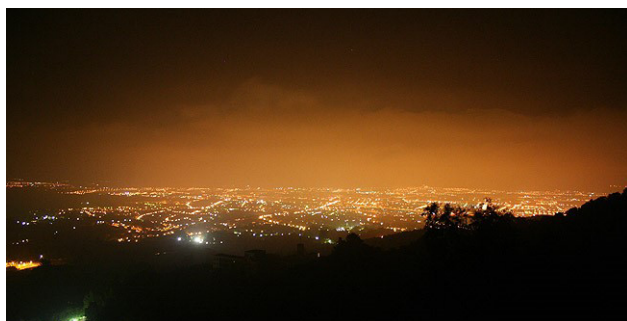


Figura 2. Halo luminoso de una ciudad.
Fuente: www.madrimasd.org/blogs/salud_publica/files/2011/03/contaminacion_luminosa.jpg.



Figura 3. Intrusión lumínica. Fuente: [www. http://static.panoramio.com/photos/original/75880466.jpg](http://static.panoramio.com/photos/original/75880466.jpg).

didada de calidad de vida. Aunque el grado de afectación sobre el ser humano no está identificado del todo, se sabe que provoca alteraciones importantes del sueño (Figura 3).

Deslumbramiento

Se origina cuando la visibilidad se dificulta o imposibilita por el efecto de la luz del sol o la emitida por instalaciones de iluminación artificial. Las luces mal orientadas o con demasiada potencia deslumbran, hacen perder agudeza visual y generan zonas de sombra que dificultan la visión. También son importantes otros efectos de una iluminación mal planificada, siendo un caso preocupante el de la seguridad en las carreteras. Existen carreteras prácticamente a oscuras en las que, de pronto, aparecen focos luminosos muy potentes de estaciones de servicio o áreas de descanso que pueden causar pérdida de visión temporal a los conductores. También son un riesgo las carreteras en las que se derrocha iluminación, porque generan un exceso de confianza en los conductores, aumentando la velocidad de los vehículos y el grado de siniestralidad [4, 5]. Por ello, el alumbrado de las carreteras debe diseñarse de acuerdo a la progresiva adaptación del ojo a la oscuridad, sin cambios bruscos de luz (Figura 4). Una medida adoptada en autovías y autopistas es plantar setos en la mediana que, además de tener un valor estético, reducen los problemas de deslumbramiento entre coches que circulan en sentidos opuestos.

Sobreconsumo

Con frecuencia la emisión de luz implica un consumo energético mayor del necesario debido al exceso de intensidad, al horario de funcionamiento y a su distribución espectral. El gasto energético del alumbrado público de un municipio representa aproximadamente el 50%

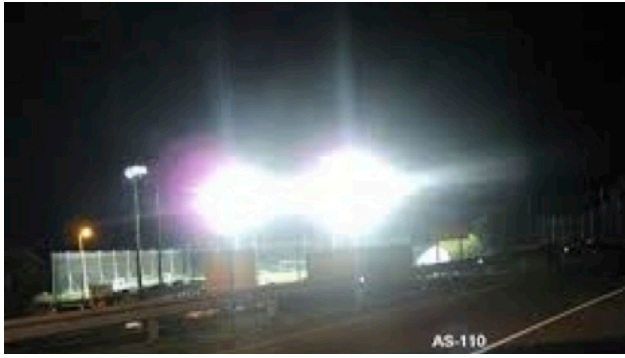


Figura 4. Deslumbramiento.

Fuente: <https://books.google.es/books?isbn=8498490715>.

del gasto energético total. La aplicación de medidas correctoras, como el uso de lámparas de sodio o de bajo consumo, luminarias con pantallas que eviten el flujo de luz por encima del plano horizontal o la limitación del horario del funcionamiento de los focos luminosos, entre otros, pueden reducir este gasto en más de un 25% (Figura 5).

Según la Asociación Internacional Dark-Sky, el problema de la contaminación lumínica afecta a dos tercios de la población mundial, y se calcula que en EEUU se gastan 6 millones de toneladas de carbón y 23 millones de barriles de petróleo al año en generar luz que se proyecta al cielo, lo que supone un desperdicio de unos 1.000 millones de dólares [6].

En España, la propuesta de modelo de ordenanza municipal de alumbrado exterior para la protección del medio ambiente mediante la mejora de la eficiencia energética elaborada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), indica que el alumbrado público consume 4.700 GW/h por año y es responsable de la emisión a la atmósfera de 4.250.000 toneladas anuales de CO₂. Se estima una capacidad potencial media de ahorro en este sector del 20%, lo que significaría la reducción de las emisiones en unas 850.000 toneladas de CO₂ por año [7].



Figura 5. Sobreconsumo. Fuente: www.discoverhongkong.com/es/see-do/highlight-attractions/harbour-view/a-symphony-of-lights.jsp.

Entre las consecuencias más significativas de este tipo de contaminación está el derroche de energía eléctrica y el elevado gasto público que conlleva. También son importantes los efectos medioambientales negativos, ya que un exceso de luz durante la noche impide la destrucción de ciertas partículas contaminantes del aire. El dióxido de nitrógeno y sus derivados se desintegran mediante una reacción química que depende mucho del nivel de oscuridad, por lo que la presencia de luz durante la noche llega a impedir que se destruya hasta un 5% de esos contaminantes. Por lo tanto, a mayor contaminación lumínica también se puede producir una mayor contaminación atmosférica.

EFFECTOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD

Los efectos del exceso de luz sobre los ecosistemas y sobre la salud son preocupantes. Se calcula que un 63% de la población mundial y un 99% de la población de Europa y Estados Unidos (excluyendo Alaska y Hawái) vive en áreas donde, según la escala elaborada por la Unión Astronómica Internacional, la contaminación lumínica es un hecho “oficial”, es decir, donde la noche es un 10% más brillante que la luminosidad natural del cielo por encima de los 45 grados.

La contaminación lumínica tiene efectos comprobados sobre la flora y sobre la fauna nocturna. En algunos grupos faunísticos, como mamíferos, anfibios y gran número de insectos, la actividad biológica a pleno sol es escasa comparada con la que desarrollan desde el crepúsculo hasta el amanecer, precisando de la oscuridad para desarrollar su ciclo vital. La iluminación de playas y zonas costeras supone una agresión para la vida marina. La luz artificial durante la noche altera los ciclos de ascenso y descenso del plancton marino, base de la cadena alimenticia, y provoca que muchas especies animales, modifiquen sus pautas de comportamiento. El deslumbramiento y la desorientación en aves es otro de los efectos de la luz artificial. Algunas especies pierden el rumbo y otras salen en busca de alimento más tarde de lo habitual.

La luz artificial perjudica a determinadas especies, ciegas a su longitud de onda, facilitando que sean depredadas, lo que puede alterar el equilibrio de las poblaciones y comunidades animales. Más del 90% de los insectos son de costumbres nocturnas, pudiendo ver alterados sus hábitos nocturnos (reproducción, migración, etc.) a consecuencia de una iluminación artificial que rompe el

ciclo natural del día y la noche. Otro problema añadido es el impacto que provocan las luces de mercurio, que desprenden una radiación ultravioleta imperceptible para el ojo humano pero no para los insectos nocturnos. Por ejemplo, las polillas se ven atraídas alrededor de estas luces y quedan atrapadas alrededor de ellas, o son cazadas fácilmente por sus predadores, pudiendo afectar su reproducción. También es elevada la mortandad por colisión de insectos atraídos por los faros de los coches, y las tortugas sufren la contaminación lumínica, en ocasiones con consecuencias fatales: cuando las crías salen a la superficie desde sus nidos bajo la arena de las playas buscan un horizonte brillante hacia el que dirigirse. En condiciones normales, durante la noche ese horizonte será el mar, pero si en la playa hay luces encendidas las tortugas pueden confundir el camino (Figura 6).

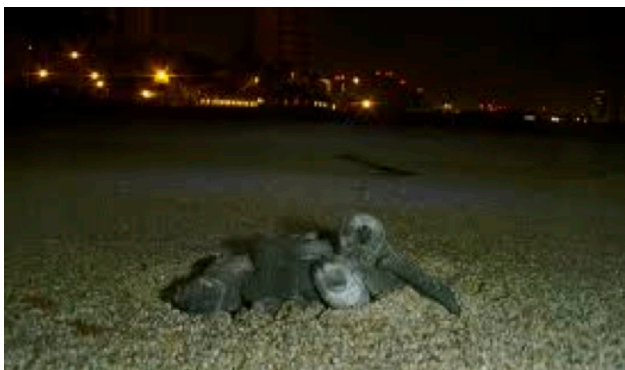


Figura 6. Efectos de la contaminación lumínica sobre la biodiversidad. Fuente: www.luz2015.unam.mx/leer/119/luz-artificial-nocturna-un-nuevo-tipo-de-contaminante.

Los vegetales también sufren las consecuencias de un exceso de luz, que puede afectar a su fenología. Por ejemplo, se ha observado que los árboles de hoja caduca tardan más en perder las hojas en entornos con iluminación nocturna.

DESTRUCCIÓN DEL PAISAJE CELESTE

Un efecto más de la contaminación lumínica es la destrucción del cielo como patrimonio, como recurso natural y, también, como recurso económico. La emisión indiscriminada de luz hacia el cielo y su dispersión en la atmósfera ocasiona una desaparición progresiva de los astros para los observadores. Algunos de ellos no tienen un brillo puntual como las estrellas, sino que son extensos y difusos (las nebulosas y las galaxias) y por ello son los primeros afectados. Su visión depende del contraste existente entre su tenue luminosidad y la oscuridad del fondo del cielo, por lo que al dispersarse la luz, estos



Figura 7. Efecto de la contaminación lumínica en el cielo. Fuente: Observatorio de Canarias.

objetos desaparecen. El ejemplo más evidente es la desaparición total de la visión de la Vía Láctea desde las zonas urbanas. Al incrementarse el brillo del cielo desaparecen también, de forma progresiva, las estrellas, quedando visibles solamente las más brillantes, algunos planetas y la Luna.

La contaminación lumínica, junto con la contaminación radioeléctrica y la del espacio, representa la amenaza más seria para la astrofísica. La dispersión de la luz en la atmósfera hace que este fenómeno sea capaz de alterar la calidad del cielo a grandes distancias, afectando así a las zonas donde se ubican los observatorios astrofísicos. Por ello, las primeras advertencias del peligro que suponía la contaminación lumínica para la ciencia astronómica procedieron de estos observatorios (Figura 7). Además, hay lugares donde se utiliza la observación astronómica como una manera de generar riqueza a través del turismo, posibilidad que desaparece, cuando la iluminación impide ver las estrellas.

CUATRO MANERAS PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN LAS CIUDADES

Una correcta iluminación en las ciudades implica beneficios económicos y sociales, mientras que un mal diseño del alumbrado tiene un coste económico y ambiental muy alto [8]. La reducción de la contaminación lumínica es, en realidad, una tarea bastante sencilla. Algunas de las soluciones que existen son las siguientes:

Instalación de iluminación sensible al movimiento

Los sistemas de alumbrado público sensibles al movimiento permiten encender las luces a medida que las personas se aproximan, iluminando un área con antelación y reduciendo con ello la gran cantidad de luz que



Figura 8. Iluminación de calles con bombillas hacia abajo. Fuente: <http://thisbigcity.net/es/cuatro-maneras-para-reducir-la-contaminacion-luminica-en-las-ciudades/>.

se desperdicia a lo largo de calles o espacios públicos no transitados. Estos sistemas son ya frecuentes en la actualidad en espacios interiores, sobre todo en edificios públicos.

Iluminación orientada hacia abajo con bombillas que estén cubiertas por arriba

Para una buena iluminación de las calles las bombillas tienen que disponer de pantallas que cubran la parte superior y los laterales. Esto orienta la luz hacia abajo y reduce la cantidad de luz desperdiciada. Con esto nos aseguramos de que la luz ilumine el suelo y no el cielo (Figura 8).

Uso de tipos diferentes de luz

Cambiar las bombillas por otras de menor potencia es una manera sencilla de reducir la contaminación lumínica, aunque no se pueda utilizar de forma generalizada en todas las zonas habitadas. No obstante, sí es posible y deseable realizar una iluminación diferenciada, en función del uso y frecuentación de cada espacio, adecuando la densidad de puntos de luz y su potencia.

La iluminación de color blanco azulado afecta significativamente a la contaminación lumínica a escala urbana, por lo que debe evitarse. En este sentido, es preciso valorar con cuidado el empleo de iluminación LED en exteriores, ya que pese a su mayor eficiencia energética emite luz azul, que genera una mayor contaminación lumínica. Esto se puede evitar con la cálida iluminación blanca.

Reducción de la iluminación exterior

A menudo el diseño de la iluminación exterior no tiene en cuenta las necesidades reales de luz, estando sobredimensionada. No todas las calles y espacios públicos tienen las mismas necesidades; en grandes calles comerciales y zonas muy transitadas es lógico que exista una iluminación más intensa, pero en calles residenciales y zonas poco transitadas la iluminación debe ser muy inferior, ajustada por criterios como la seguridad. Con frecuencia esta sobreiluminación de espacios con poco uso se debe a una falta de conciencia de la problemática de la contaminación lumínica, e incluso de los costes ambientales y económicos de generar la energía eléctrica.

La iluminación exterior de edificios también contribuye notablemente a la contaminación lumínica. Numerosos edificios, incluso en zonas industriales, permanecen iluminados toda la noche, sin ninguna necesidad. La iluminación exterior debería limitarse a lo estrictamente necesario por motivos funcionales, o a edificios singulares e incluso en estos casos no parece necesario mantenerlos iluminados durante toda la noche.

Reducción de la pérdida de luz en los espacios interiores

La iluminación transmitida al exterior desde el interior de los edificios también contribuye a la contaminación lumínica. Para minimizar la cantidad de luz perdida desde el interior de las casas, se deben tomar medidas como minimizar el consumo de energía eléctrica, encender sólo las luces de las estancias que se están empleando o emplear cortinas y persianas.

PREVISIONES Y SOLUCIONES

Si el ritmo actual de aumento de la contaminación lumínica continúa (entre un 5% y un 10% anual) se estima que para el año 2025 los cielos oscuros se habrán extinguido por completo en la parte continental de Estados Unidos. Aunque existan zonas no iluminadas, como los Parques Naturales, también pueden contaminarse debido a un fenómeno que se conoce como *skyglow* o dispersión lumínica hacia el cielo, producto de la luz reflejada por la humedad y el polvo en suspensión, que puede iluminar zonas a grandes distancias. Por ejemplo, la cúpula brillante generada por la ciudad de Las Vegas afecta a unos diez Parques Naturales, entre ellos el del Gran Cañón, situado a 240 kilómetros de distancia.

El *Comité Español de Iluminación* ha desarrollado una “Guía para la Reducción del Resplandor Luminoso Nocturno” que si se aplicase en España podría suponer un ahorro de más de la mitad en la iluminación exterior. España es el país de la Unión Europea que más energía consume en alumbrado público, unos 118 kWh/año frente a los 90 kWh/año de Francia o los 48 kWh/año de Alemania; y todo ello siendo uno de los países europeos con más horas de sol anuales. Alumbrar las calles y carreteras cuesta anualmente alrededor de 450 millones de euros, cantidad que podría reducirse a más de la mitad con una planificación adecuada.

Soluciones LED para la contaminación lumínica

La aplicación de la tecnología LED al alumbrado público permite mitigar la contaminación lumínica. Los diodos emisores de luz (LED) han permitido una gran mejora en la eficiencia energética del alumbrado público, impensable hace años. El 98% de la energía en estos nuevos sistemas de alumbrado público se emplea en iluminar la calle, mientras que sólo un 2% se desperdicia en forma de contaminación lumínica. Una característica de los sistemas LED es su adaptabilidad a diferentes tipos de

alumbrado público y de calles y carreteras, proporcionando una iluminación uniforme con una alta eficiencia energética. Además de reducir el resplandor no deseado y la contaminación lumínica, el empleo de alumbrado público de este tipo también ahorra energía: en comparación con lámparas tradicionales, una lámpara LED permite reducir el consumo de energía entre un 40% y un 60% (Figura 9).

Iniciativas jurídicas

El consumo de energía para uso doméstico, industrial o para iluminación de las calles ha crecido en los últimos años, aumentando como consecuencia el problema de la contaminación lumínica. Sin embargo, los aspectos positivos de este tipo de contaminación, a diferencia de otros, es que presenta una fácil solución y que desaparece de inmediato en cuanto apagamos las luces, sin tener efectos acumulativos. Las iniciativas jurídicas existen y están dando resultados positivos [9]. En cuanto a la legislación, a nivel estatal, como legislación básica, la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera, que sustituye a la clásica Ley 38/1972, de Protección del Ambiente Atmosférico, tanto en su exposición de motivos como en los primeros artículos trata de ser omnicompreensiva. Sin embargo, no sería fácil su aplicación directa respecto a la contaminación lumínica porque no figura ni en el anexo de actividades potencialmente contaminadoras ni entre las infracciones, ni impone límites. Incluye una definición de contaminación lumínica en su artículo 3.f, casi sólo como una referencia de cortesía, señala objetivos a alcanzar y cede el detalle a las Administraciones Públicas competentes (fundamentalmente Municipios y Comunidades Autónomas). En la Disposición Adicional Cuarta señala: “*Las Administraciones Públicas, en el ámbito de sus competencias, promoverán la prevención y reducción de la contaminación lumínica con la finalidad de conseguir los siguientes objetivos:*

- a. *Promover un uso eficiente del alumbrado exterior sin menoscabo de la seguridad que debe proporcionar a los peatones, los vehículos y las propiedades.*
- b. *Preservar al máximo posible las condiciones naturales de las horas nocturnas en beneficio de la fauna, la flora y los ecosistemas en general.*
- c. *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.*

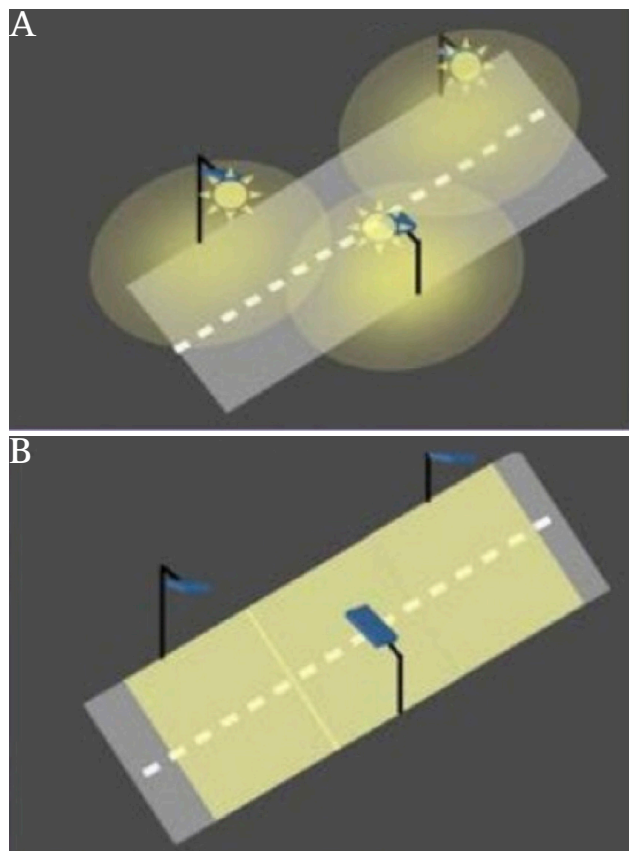


Figura 9. (A) Diseño tradicional. (B) Diseño optimizado. Fuente: Optics Express.

d. *Reducir la intrusión lumínica en zonas distintas a las que se pretende iluminar, principalmente en entornos naturales e interior de edificios.*”

El desarrollo reglamentario de esta Ley por el RD 102/2011, de 28 de enero, relativo a la Mejora de la Calidad del Aire, ya no contiene referencias a la contaminación lumínica.

El Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior y sus instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07, aprobado por RD 1890/2008, de 14 de noviembre, contiene precisiones técnicas desde el punto de vista del ahorro energético. En cuanto al régimen sancionador, se remite al Título V de la Ley de Industria de 1992. Entre ellas son de destacar la infracción grave del artículo 31.2. m) “*La inadecuada conservación y mantenimiento de instalaciones si de ello puede resultar un peligro para las personas, la flora, la fauna, los bienes o el medio ambiente*”. Y la infracción muy grave del artículo 31.1. d) “*Las tipificadas en el apartado siguiente como infracciones graves, cuando de las mismas resulte un daño muy grave o se derive un peligro muy grave e inminente para las personas, la flora, la fauna, las cosas o el medio ambiente*”.

La luz visible es una radiación electromagnética cuyas longitudes de onda están comprendidas entre 400 nm y 700 nm. Por ello, en casos graves no habría problema en su tipificación penal, como emisión de radiaciones, en el artículo 325 del Código Penal.

La Ley 34/2007 habilita a las Comunidades Autónomas a desarrollar legislación propia en este aspecto, cosa que han hecho por ejemplo Andalucía, Cantabria, Castilla y León, Cataluña, Extremadura, Islas Baleares y Navarra. La legislación más madrugadora es la canaria, con sus llamadas “Ley del Cielo” (Ley 31/1988, de 31 de octubre) y “Reglamento del Cielo” (RD 234/1992, de 13 de marzo), que trataban de proteger la privilegiada visión del firmamento a través de los telescopios del Instituto de Astrofísica de Canarias situados en los Observatorios de las islas de Tenerife y La Palma.

Estas normas son muy sencillas pero eficaces, limitando al máximo la emisión de luz artificial y prohibiendo que esta luz directa o reflejada se dirija hacia el horizonte y hacia el cielo; controlando, además, la contaminación atmosférica para evitar la reflexión de luz artificial sobre las capas altas de la atmósfera. Las medidas que adopta son sencillas y baratas, perfectamente aplicables en lugar y sería una magnífica idea que sus previsiones se adoptaran en todas las ordenanzas municipales.

Por todo ello, aunque la luz es paradójicamente la contaminación menos visible de todas, es urgente su control.

REFERENCIAS

- [1] San Martín Páramo, R., Solana Lamphar, H. y Franca Payás, P.: *Contaminación lumínica. Una visión desde el foco: el alumbrado artificial*. Iniciativa Digital Politécnica. Ed. URI (2012). <http://hdl.handle.net/2099.3/36606>.
- [2] Grupo de Trabajo GT-LUZ: Contaminación lumínica. CONAMA 9 (2008). <http://www.celfosc.org/biblio/general/conama92008.pdf>.
- [3] <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>.
- [4] Ministerio de Fomento (2015): *Orden circular 36, sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles. Tomo I. Recomendaciones para la iluminación de carreteras a cielo abierto*. http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/74D556F8-A140-462F-A89D-E2B168EA95CD/130278/OC362015_Tomol.pdf.
- [5] Ministerio de Fomento (2015): *Orden circular 36, sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles. Tomo II. Recomendaciones para la iluminación de túneles*. http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/BDE93CC1-F0A6-47D2-B722-8F6AEBB37C1D/130279/OC362015_TomolI.pdf.
- [6] <http://darksky.org/>.
- [7] <http://www.idae.es/>.
- [8] Paredes Gil, M.A.: *El lado oscuro de la Luz*, Ayuntamiento de Murcia. Museo de la Ciencia y el Agua, 2014. <http://www.cienciayagua.org/admin/noticias/winarcdoc.php?id=219>.
- [9] Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior (RD 1890/2008). http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/CARRETERAS/NORMATIVA_TECNICA/ILUMINACION/1210100html.htm.

Rubén Díaz Sierra

Dpto. de Física Matemática y de Fluidos

Álvaro Enriquez de Salamanca

DRABA Ingeniería y Consultoría Medioambiental

Escuela Internacional de Doctorado

Rosa María Martín Aranda

Dpto. de Química Inorgánica y Química Técnica

José Ignacio Monreal Bueno

Fiscal de Medio Ambiente de Tarragona