

Observatorio Medioambiental

ISSN: 1139-1987

<http://dx.doi.org/10.5209/OBMD.54165>EDICIONES
COMPLUTENSE

La contaminación lumínica. Aproximación al problema en el barrio de Sants (Barcelona)

M^a Carmen Moreno García¹; Adán Martín Moreno

Recibido: 7 de marzo del 2016 / Enviado a evaluar: 11 de marzo del 2016 / Aceptado: 5 de julio del 2016

Resumen. La contaminación lumínica es la iluminación artificial nocturna excesiva o defectuosa en las ciudades, principalmente. Sus efectos negativos son: la difusión hacia el cielo, que dificulta la observación astronómica; la intrusión lumínica, o penetración de la luz por las ventanas, dificultando el sueño; el deslumbramiento y el sobreconsumo energético. Una vez presentados los conceptos sobre la contaminación lumínica y analizados los tipos de luminarias, se estudia el caso del barrio de Sants en la ciudad de Barcelona. Se han realizado transectos por 21 calles y plazas, y un amplio inventario fotográfico, detectándose problemas de intrusión lumínica en el 57,1% de las vías analizadas.

Palabras clave: Contaminación lumínica; Intrusión lumínica; Alumbrado público; Luminaria; Barrio de Sants; Barcelona; Led; Vapor de sodio.

[en] Light pollution. Approach to the problem in Sants quarter (Barcelona, Spain)

Abstract. Light pollution is excessive or defective artificial night lighting, mainly in cities. Its negative effects are: diffusion to the sky, which hampers astronomical observation; light intrusion or penetration of light through the windows, preventing sleep; glare; and energy overconsumption. Once presented the concepts of light pollution and analyzed the types of luminaires, the case of Sants quarter (Barcelona) was studied. Transects through 21 streets and squares were conducted, and an extensive photographic inventory was made. Problems with light intrusion were detected in 57.1% of the pathways analyzed.

Key words: Light pollution; Light intrusion; Street lighting; Luminaire; Sants quarter; Barcelona; Led; Sodium vapour.

[fr] La pollution lumineuse. Approche du problème dans le quartier de Sants (Barcelone, Espagne)

Résumé. La pollution lumineuse est l'éclairage artificiel nocturne excessive ou défectueuse dans les villes, notamment. Ses effets négatifs sont : la diffusion vers le ciel, qui rend difficile l'observation astronomique; l'intrusion lumineuse ou pénétration de la lumière à travers les fenêtres, entravant le rêve;

¹ Grupo de Climatología. Departamento de Geografía Física y A.G.R. Universidad de Barcelona.
E-mail: mcmoreno@ub.edu

l'éblouissement et l'excès de consommation énergétique. Une fois présentés les concepts sur la pollution lumineuse et analysées les types de luminaires, étudie le cas du quartier de Sants dans la ville de Barcelone. Ont été réalisés transects par 21 rues et places, et un large inventaire photographique, en identifiant problèmes d'intrusion lumineuse à 57,1 % des voies analysées.

Mots clés: Pollution lumineuse; Intrusion lumineuse; Éblouissement; Luminair; Quartier Sants; Barcelone; Led; Vapeur de sodium.

Cómo citar. Moreno García, M^a C. y Martín Moreno, A. (2016): La contaminación lumínica. Aproximación al problema en el barrio de Sants (Barcelona). *Observatorio Medioambiental*, 19, 133-163.

Sumario. 1. La contaminación lumínica. 1.1. Acerca de la definición de contaminación lumínica. 1.2. Formas de manifestación de la contaminación lumínica. 1.2.1. La difusión hacia el cielo. 1.2.2. La intrusión lumínica. 1.2.3. El deslumbramiento. 1.2.4. El sobreconsumo. 1.3. Efectos o consecuencia sde la contaminación lumínica. 1.3.1. Efectos en la salud humana. 1.3.2. Efectos en los animales. 1.4. Tipos de luminaria y lámparas. 1.5. Normativa legal. 2. La contaminación lumínica en las ciudades españolas. Estudio aplicado al barrio de Sants (Barcelona). 2.1. El alumbrado público en la ciudad de Barcelona. 2.2. El barrio de Sants: características generales. 2.3. Metodología. 3. Análisis de resultados. 3.1. Algunos ejemplos seleccionados de intrusión lumínica. 4. Conclusiones. 5. Bibliografía.

1. La contaminación lumínica

Tal como muestran las imágenes de satélite nocturnas de la Tierra que se han convertido ya en muy populares, nuestro planeta se halla cada vez más iluminado por las luces artificiales de las ciudades y asentamientos urbanos donde se concentra parte de la población mundial. La localización de las áreas más iluminadas ilustra, al mismo tiempo, el mayor nivel socioeconómico y consumo energético de los países más desarrollados. En esos lugares la observación de los astros en un inmenso cielo oscuro es algo prácticamente imposible hoy día por el exceso de luz proveniente de fuentes artificiales. Se trata, en definitiva, del problema conocido como contaminación lumínica. Podría afirmarse sin exagerar, utilizando palabras de Bertrand Russell, que “hemos borrado los cielos”. La Vía Láctea ya ha desaparecido prácticamente de la bóveda celeste urbana. Una de las asociaciones españolas más importantes contra la contaminación lumínica (Cel Fosc) plantea, precisamente, en un ilustrativo titular en su página web la pregunta de ¿quién nos ha robado la Vía Láctea? teniendo claro que el principal responsable es la contaminación lumínica, generada por el uso excesivo e irresponsable de la energía eléctrica en el alumbrado de exteriores.

En la figura 1 a través de la comparación de sendas imágenes de satélite correspondientes a 1992 y 2010 del continente europeo puede comprobarse, además, cómo el aumento de las áreas iluminadas no ha parado de crecer. Se estima que en los últimos veinte años ha habido un crecimiento del consumo para iluminación de exteriores en los países desarrollados de entre el 5% y el 10% anual, lo que ha motivado un aumento generalizado de este tipo de contaminación (Herranz, 2011).

Figura 1. Imágenes de satélite de Europa con las áreas iluminadas por la noche en 1992 (parte superior) y 2010 (parte inferior).



Fuente: NASA y NOAA

Pero, la contaminación lumínica no sólo impide el disfrute de las noches estrelladas, sino que, además, provoca serios daños en el medio ambiente y en la salud, constituyendo un derroche de energía innecesario e injustificado. Ha sido, sobre todo, a partir de la década de los años 80 cuando se comenzó a considerar a la contaminación lumínica como un verdadero problema. Desde entonces, han ido surgiendo en diversos países, distintas asociaciones de defensa y protección del cielo oscuro y contra la contaminación lumínica, muy activas y de gran prestigio en su campo, como la española *Cel Fosc* o la italiana *Cielo Buio*. Actualmente, existen también otras destacadas organizaciones de carácter internacional como las de la *IDA –International Dark-Sky Association–*, la *IAU-Comisión 50* de la *Unión Astronómica Internacional* o la *Iniciativa Starlight*. En el ámbito español, pueden citarse además, la *OTPC –Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo–* del Instituto de Astrofísica de Canarias y la *REECL –Red Española de Estudios sobre la Contaminación Lumínica–*. Todo ello demuestra la existencia de una mayor concienciación hoy día respecto de este problema medioambiental.

1.1. Acerca de la definición de contaminación lumínica

Existen múltiples definiciones acerca de la contaminación lumínica. Según la Ley 34/2007 española de calidad del aire y protección de la atmósfera, la contaminación lumínica consiste en “*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*”. La definición, posiblemente más general, de lo que se entiende por contaminación lumínica, se puede encontrar en la publicación de la CIE nº 126: “*Directrices para la minimización del brillo del cielo*”, en donde se indica que la “*polución de la luz*” es un término genérico que indica la suma total de todos los efectos adversos de la luz artificial.

Según la Red Española de Estudios sobre la Contaminación Lumínica (REECL), por contaminación lumínica en términos científicos se entiende “*la alteración de la oscuridad natural del medio nocturno producida por la emisión de luz artificial*” (cuya fuente principal serían las instalaciones de alumbrado nocturno de exteriores y una localización preferentemente urbana). Para la asociación *Cel Fosc*, ésta se define como “*la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones, horarios o rangos espectrales innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en la que se instalan las luces. Frecuentemente la detectamos como el brillo del cielo nocturno producido por la mala calidad del alumbrado exterior, tanto público como privado*”. Una definición muy similar aparece recogida en el glosario *100 Conceptos básicos de Astronomía* (2009), donde se señala que una de las definiciones más aceptadas de contaminación lumínica consiste en “*la emisión de flujo luminoso procedente de fuentes artificiales nocturnas con*

intensidades, direcciones, rangos espectrales (colores) u horarios innecesarios para las actividades que se planea desarrollar en la zona iluminada”.

La contaminación lumínica es uno de los tipos de contaminación característicamente asociados a las áreas urbanas y consiste en el alumbrado nocturno excesivo o defectuoso, que afecta no sólo la visión del cielo, sino que también tiene otros efectos negativos o perjudiciales en el medio ambiente urbano, como son las alteraciones en la biodiversidad de sus ecosistemas, un mayor consumo energético, generación de residuos, etc. Los problemas que genera la contaminación lumínica van más allá del simple despilfarro energético y el exceso de subproductos de generación de energía (CO₂, residuos nucleares, etc.) o el reciclaje de los metales pesados y tóxicos presentes en las bombillas y lámparas (mercurio, cadmio, etc.), ya que afectan también a las condiciones de vida nocturna y de los ciclos día-noche a que se han adaptado animales y plantas, así como a la calidad de vida individual de cada uno de los ciudadanos.

1.2. Formas de manifestación de la contaminación lumínica

La contaminación lumínica se manifiesta de distintas formas. Principalmente, lo hace a través de la difusión hacia el cielo, el deslumbramiento y la intrusión lumínica, a las que hay que añadir el sobreconsumo, que es una consecuencia.

1.2.1. La difusión hacia el cielo

La difusión hacia el cielo es la forma de contaminación lumínica consistente en la emisión de rayos luminosos que se difunden hacia el firmamento. Se origina porque la luz interactúa con las partículas del aire y se desvía en todas direcciones. El proceso se hace más intenso si hay partículas contaminantes en la atmósfera (partículas sólidas o aerosoles, humos), como suele ser frecuente en la atmósfera de las ciudades, donde encontramos precisamente una gran cantidad de ellas. Como resultado de ello podemos observar ese característico halo luminoso que cubre algunas ciudades y las hace visibles a gran distancia (el de Madrid se eleva 20 km por encima de la ciudad, o el de Barcelona, por ejemplo, es perceptible, incluso, a 300 km de distancia)(Figura 2).

Figura 2. Característico halo luminoso en la ciudad de Barcelona visto desde sus alrededores.



Fuente: <http://www.celfosc.org/>.

Se produce por emisión directa de la luz desde las luminarias hacia el cielo, o bien por la reflexión de la luz hacia el cielo desde la superficie iluminada. Lo primero se puede evitar utilizando luminarias bien apantalladas, con cierre de vidrio plano e instaladas en paralelo al suelo. Lo segundo sólo puede reducirse con el empleo de materiales en la superficie que tengan un bajo coeficiente de reflexión.

La difusión hacia el cielo es la forma más agresiva de contaminación lumínica y la que más afecta directamente a los aficionados a la observación astronómica, ya que disminuye la oscuridad natural del cielo y se dificulta la observación de las estrellas. Los animales nocturnos también se ven afectados, puesto que la intromisión de la luz artificial y su dispersión lateral altera su conducta, desequilibrando las poblaciones de animales. Los efectos en las poblaciones de insectos, que son de las más afectadas, erosionan la base de la cadena alimentaria, repercutiendo en el resto. Un parámetro de cuantificación de la contaminación lumínica es la emisión de flujo superior (EFS), que representa la cantidad de flujo lumínico que se escapa de la ciudad hacia el cielo y que se expresa en lúmenes (lm).

1.2.2. La intrusión lumínica

La intrusión lumínica se origina cuando la luz artificial procedente de la calle entra por las ventanas e invade el interior de las viviendas. Aunque no es posible evitarla en su totalidad, sí que se puede suprimir la causada por la emisión directa, situando las luminarias a una altura por debajo de las ventanas de los primeros pisos de las viviendas, así como no permitir el encendido nocturno de anuncios luminosos.

No hay que menospreciar la importancia de esta forma de contaminación lumínica, dados los efectos perjudiciales que puede causar en el bienestar y salud de las personas que habitan en áreas urbanas. A una escala local, podría decirse que éste es el problema de contaminación lumínica más destacado, junto con los causados por el deslumbramiento, y por ello merece una mayor atención y control.

1. 2.3. El deslumbramiento

El deslumbramiento se refiere a la forma de contaminación lumínica originada por la emisión de rayos luminosos que dificultan o imposibilitan la visión. Es el tipo de contaminación que tiene una relación más directa con el tema de la seguridad vial y puede producirse tanto por un exceso de luz, como por una mala orientación de las luminarias, que la proyectarían directamente a los ojos.

Desde hace algún tiempo se ha potenciado el exceso de luz, con la pretensión de incrementar así la seguridad, de manera que la percepción ciudadana tiende a identificar mayor iluminación con mayor seguridad, olvidando que, muchas veces, ese exceso de potencia lo único que provoca es un mayor deslumbramiento. El peculiar funcionamiento del ojo humano durante la noche aconseja evitar ese exceso, optimizando la visibilidad nocturna, con la utilización de unos niveles luminotécnicos apropiados. Esta falsa percepción contribuye a que hayan proliferado alumbrados excesivos (si en un barrio se instala uno, algo potente, no pasa demasiado tiempo para

que los habitantes del barrio contiguo se sientan como si vivieran “a oscuras” y demanden más luz); de este modo las ciudades se han ido haciendo cada vez más luminosas. Incluso pueblos o localidades más pequeñas, ante el agravio comparativo, exigen una iluminación similar, convirtiéndose así también en focos emisores de contaminación lumínica.

1.2.4. El sobreconsumo

El sobreconsumo consiste en el consumo energético inútil o innecesario derivado de la emisión de rayos luminosos con un exceso de intensidad o de distribución espectral. Si se envía luz a lugares donde ésta no es necesaria, como al cielo o hacia el ángulo de deslumbramiento, hay que aumentar la potencia de las bombillas para iluminar toda el área requerida. Por otra parte, algunas bombillas, como las de vapor de mercurio, consumen una parte de la energía en producir luz ultravioleta, invisible para el ojo humano y que no se aprovecha.

Para evitar el sobreconsumo hay que utilizar preferentemente bombillas con una elevada eficiencia energética que generen luz con una longitud de onda que proporcione una buena visibilidad con el mínimo consumo. Las bombillas de vapor de sodio, de alta y baja presión, son las más indicadas, por tanto, es conveniente, en la renovación del alumbrado exterior ir sustituyendo las bombillas de vapor de mercurio por estas otras, de menor impacto ambiental, así como intentar reducir la potencia instalada. La estructura y la orientación de las pantallas de las farolas o focos de luz es también muy importante para conseguir el máximo aprovechamiento de la luz con el mínimo impacto ambiental.

1.3. Efectos o consecuencias de la contaminación lumínica

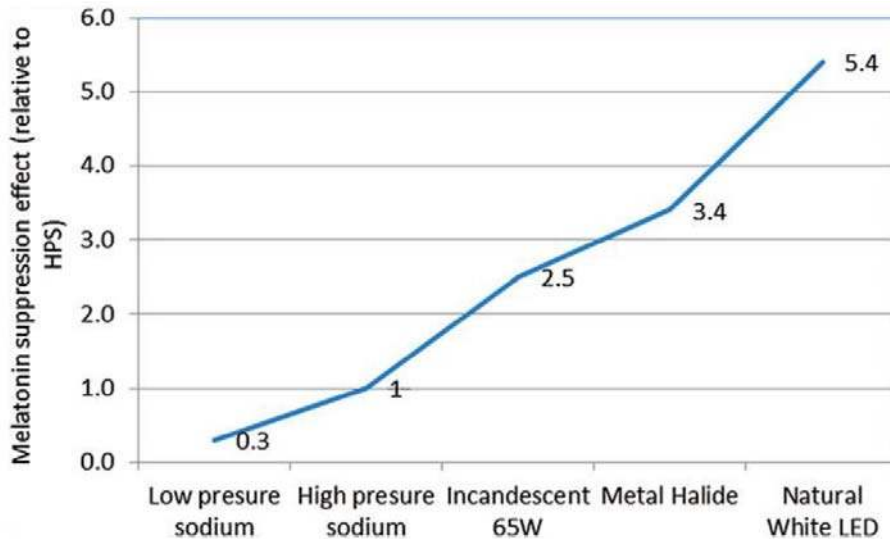
La contaminación lumínica, además del innecesario gasto energético que supone, tiene también otros variados efectos o consecuencias entre las que destacan, especialmente, las que afectan a la salud humana y a los animales y la biodiversidad.

1.3.1. Efectos en la salud humana

El hombre está adaptado al seguimiento de un ritmo circadiano, que significa que oscila en un periodo cercano (*circa*) a las 24 horas, con la sucesión del ciclo natural de luz/oscuridad. En el caso de la contaminación lumínica, la excesiva exposición a luz brillante por la noche perjudica el funcionamiento del organismo humano, afectando, sobre todo, a los ritmos de cortisol y melatonina. La producción de estas hormonas se relaciona directamente con la duración de la noche, por lo tanto, cuando se altera el ciclo natural diario con un abuso de luz artificial por la noche, provoca como consecuencia fisiológica directa la supresión de la síntesis de melatonina. El grado de supresión dependerá del momento en que tenga lugar la exposición, la duración de la misma y las características de la luz (luminosidad y longitudes de onda). Son las longitudes de onda en el rango de los 460-480 nm. (luz azul) las que

producen mayor inhibición. Tal como puede verse en la figura 3, las que causan, en cambio, una menor supresión son las luces de vapor de sodio de alta y baja presión y, por ello, son más recomendables.

Figura 3. Efecto de supresión de la melatonina causado por diferentes tipos de luz.



Fuente: Bonmatí, 2014.

La exposición inadecuada a la luz por la noche provoca, pues, una cronodisrupción, con una clara alteración de los ritmos circadianos, ocasionando cambios fisiológicos que pueden incrementar el desarrollo de patologías previas o derivar, a largo plazo, en procesos fisiopatológicos que contribuirán a determinadas enfermedades. En numerosos estudios se ha demostrado una relación estadísticamente significativa entre la cronodisrupción y el aumento en la incidencia de las enfermedades cardiovasculares, síndrome metabólico, deterioro cognitivo, trastornos afectivos y envejecimiento acelerado. Se ha detectado, además, un aumento del riesgo de padecer determinados tipos de cáncer como el de mama, próstata y colon-rectal en individuos expuestos de forma repetida y/o prolongada a luz excesiva, como ocurre con muchos empleados de los turnos de noche. Aparte del riesgo de una mayor frecuencia de tumores, la inhibición de la melatonina puede contribuir a la progresión o gravedad de toda una serie de enfermedades como las ya mencionadas (Rol, Baño, Martínez, Bonmatí, Ortiz y Madrid, 2011). Por todo ello, para mantener una buena salud es necesario, en definitiva, que el sistema circadiano pueda funcionar correctamente y por eso es importante que el día sea día y la noche sea noche, procurando una adecuada exposición a la luz. De ahí también la necesidad de establecer una

normativa legal o regulación de la contaminación lumínica, que tenga en cuenta estos efectos negativos sobre la salud, además de seguir investigando y desarrollando nuevas tecnologías de iluminación cada vez más cronosaludables.

1.3.2. Efectos en los animales

La contaminación lumínica afecta también a numerosas especies de animales, entre los que se cuentan mamíferos voladores y terrestres, aves, anfibios, reptiles, peces, etc. La contaminación producida por el alumbrado exterior altera, sobre todo, la actividad de ciertas especies eminentemente nocturnas. Uno de los grupos afectados más importantes es el de los insectos, lo que es en verdad preocupante por ser un componente esencial de la biodiversidad y por su posición en la cadena trófica.

Es bien conocido como los insectos se sienten atraídos por la luz. Este comportamiento de hiperestímulo conocido como “vuelo a la luz” origina tres efectos: el de cautividad, el de barrera y el de aspiración (Domingo, Baixeras y Fernández, 2011). En el primer caso, el insecto al sentirse atraído por la luz, queda como capturado o cautivo por ella, de forma que muere extenuado, quemado o depredado, por lo general. En el segundo caso, las fuentes de luz pueden actuar como barreras migratorias o de dispersión, mientras que por el efecto aspirador, los insectos son “extraídos” de sus hábitats naturales. Entre los insectos afectados por este tipo de polución se encuentra, por ejemplo, la mariposa nocturna *Graellsia isabelae*, una especie protegida por la Unión Europea que se ve especialmente atraída por las luces emitidas por las lámparas de vapor de mercurio. Este tipo de lámparas emiten gran cantidad de radiación ultravioleta que provoca la abundancia de insectos voladores alrededor de ellas. Esto se debe a que los insectos, especialmente los nocturnos, son más sensibles que los humanos a las radiaciones azules y ultravioletas, mientras que son prácticamente ciegos para longitudes de onda superiores a 600 nm. En este sentido, las lámparas de sodio son menos agresivas. Además de estos pequeños invertebrados, otras muchas especies, especialmente adaptadas a la oscuridad, se ven afectadas por el exceso de iluminación de las ciudades. La noche resulta fundamental para la supervivencia de muchos animales, ya sea para no ser descubiertos por sus depredadores o para que éstos no vean sus ataques. En el hábitat nocturno sucede la mayor parte de la actividad biológica del mundo salvaje. Todo tipo de especies del mundo animal han desarrollado en la noche sus sentidos. Por eso es tan importante preservar la noche en unas condiciones lo más naturales posibles.

En las aves, por ejemplo, la contaminación lumínica puede provocar deslumbramiento y desorientación, siendo perjudicadas de manera particular las aves migratorias. El plancton marino también puede ver alterados sus ciclos de ascenso y descenso, lo que influye a su vez en la alimentación de las especies marinas que habitan en las cercanías de las costas.

Actualmente se conocen, pues, bastante bien las consecuencias ecológicas que produce la contaminación lumínica en las poblaciones de distintas especies animales y sus efectos, pero aún falta investigar mucho más y avanzar sobre todo en la estandarización de la medición e incluso en la decisión de los niveles de

contaminación que pueden considerarse como aceptables, sin que causen alteraciones significativas en los animales.

Sobre la flora los efectos más importantes son, probablemente, los inducidos por la disminución de los insectos en general, así como la de los que realizan la polinización de multitud de plantas con flores que se abren de noche. Otro efecto que provoca la contaminación lumínica es el adelanto de la floración, modificando su ciclo natural.

1.4. Tipos de luminaria y lámparas

La difusión de la luz en la atmósfera por las moléculas gaseosas (difusión de Rayleigh), es mayor cuanto más pequeña es la longitud de onda de la luz. Así, las lámparas que emiten más proporción de luz azul (vapor de mercurio) producen un mayor resplandor luminoso nocturno que aquellas con emisiones superiores en la banda del rojo (vapor de sodio) de longitudes de onda más largas. La difusión por aerosoles o por partículas en suspensión, es tanto mayor cuanto menor sea el tamaño de las partículas y mayor sea la concentración de las mismas en la atmósfera.

En el proceso de distribución del flujo luminoso generado por la lámpara de una luminaria participan:

- el sistema catadióptrico de la luminaria que, por su configuración o disposición, provoca una emisión de luz hacia direcciones no deseadas
- la atmósfera en la que está inmersa dicha luminaria y su entorno, que produce el fenómeno de difusión de la luz
- el pavimento y superficies reflectantes situadas en el entorno de la luminaria que al ser alumbradas originan múltiples reflexiones de la luz de forma no controlada.

Las luminarias tienen como función proporcionar un control de la luz de forma que se dirija el flujo luminoso hacia las direcciones adecuadas apantallando el restante flujo luminoso con el fin de crear una correcta distribución de la luz. Asimismo, debe proporcionar sujeción y protección a las lámparas y sistemas catadióptricos, así como a los equipos eléctricos y/o electrónicos asociados. Por último, han de disponer de una seguridad mecánica y eléctrica así como de un índice de protección adecuado al uso al que se destinen.

Hay que utilizar luminarias con un porcentaje de emisión al hemisferio superior instalado inferior al 0,2% (preferentemente 0%) respecto al flujo total saliente de la luminaria, y especialmente evitar el enviado cerca del horizonte (los primeros 10°, 20°) ya que produce un resplandor de 6 a 160 veces superior que el mismo flujo reflejado en el suelo, con un flujo deslumbrante que causa pérdida de visibilidad.

En lo que respecta al resplandor nocturno, la emisión de luz contaminante de las luminarias se debe a la emisión directa de la luz hacia el hemisferio superior, por el sistema dióptrico, normalmente utilizado como cierre transparente de la luminaria, que desvía parte del haz de luz hacia esas direcciones. En la figura 4 puede verse un esquema gráfico con la ilustración precisamente del denominado flujo útil, el flujo hacia el hemisferio superior (causante en gran medida del resplandor nocturno) y el flujo deslumbrante en la horizontal. La luz intrusa, en cambio, es debida a la emisión de luz por parte de las luminarias hacia direcciones inadecuadas, que no siempre están

comprendidas en el hemisferio superior. En general, desde el punto de vista constructivo, las luminarias con cerramiento de vidrio curvo transparente emiten una mayor cantidad de flujo directo que las de vidrio plano.

Figura 4. Esquema con los diferentes flujos de emisión de luz



Fuente: De La Paz, Sanhueza y Díaz, 2010.

Para evaluar el grado de contaminación de las luminarias, desde el punto de vista del resplandor nocturno, se define el flujo sobre el hemisferio superior de las mismas o flujo directo enviado al cielo (%FHS) como el flujo emitido por una luminaria por encima del plano horizontal. Se expresa en tanto por ciento respecto del flujo total emitido por la luminaria. El restante flujo luminoso hacia el cielo corresponde al proceso de reflexión de las superficies iluminadas, suelo, fachadas, etc. Actualmente, se incluye en el cómputo del %FHS el flujo reflejado por las superficies reflectantes, con lo que este parámetro da una idea de la contribución media de la luminaria en la contaminación. En la figura 5 se pueden apreciar múltiples ejemplos con distintos modelos de luminarias sin emisión al hemisferio superior, tanto con cierre plano como curvo, con una variada gama de estilos. Luminarias recomendadas para no generar contaminación lumínica.

Las lámparas que normalmente se usan en el alumbrado público de exteriores son las de descarga y se pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o la presión a la que éste se encuentre (alta o baja presión). Las propiedades varían mucho de unas a otras y esto las hace adecuadas para algunos usos u otros. En

los últimos tiempos se ha producido también un gran desarrollo de los diodos emisores de luz, más conocidos por su acrónimo en inglés: LED y cuyo uso en exteriores cada vez es más popular.

Figura 5. Múltiples ejemplos de luminarias sin emisión al hemisferio superior, tanto con cierre plano como curvo



Fuente: Conama, 2008.

Atendiendo a su espectro de radiación y ordenadas de menor a mayor efecto contaminante, los tipos de lámparas más utilizadas en el alumbrado de las ciudades son:

- Lámparas de vapor de sodio a baja presión
- Lámparas de vapor de sodio a alta presión
- Lámparas incandescentes convencionales
- Lámparas incandescentes halógenas
- Lámparas fluorescentes tubulares y compactas
- Lámparas de vapor de mercurio a alta presión
- Lámparas de vapor de mercurio a alta presión con halogenuros metálicos.

Las lámparas menos contaminantes son las que emiten con mayor longitud de onda y dentro del espectro visible, por tanto, son las lámparas de vapor de sodio, principalmente. En la figura 6 se aprecia una tabla comparativa con las principales características de las lámparas más utilizadas hoy día. En ella se incluyen ya también las lámparas LED y puede comprobarse como son las que presentan mayores valores de eficacia y tiempo de vida, junto con las lámparas de sodio.

Figura 6. Características de los distintos tipos de lámparas.

Tabla comparativa de características de las fuentes de luz actualmente más usadas en iluminación			
Tipo de lámpara	Eficacia (lm/W)	Tiempo de vida (h)	IRC
▶ Halógena	20	1.200	100
▶ Halogenuros metálicos	70 - 108	15.000	90
▶ Fluorescente	60 - 100	8.000	80
▶ Sodio baja presión	120 - 200	16.000	25
▶ Sodio alta presión	95 - 130	28.000	45
▶ LED	90 - 120	>50.000	>75

Fuente: Herranz, Ollé y Jáuregui, 2011.

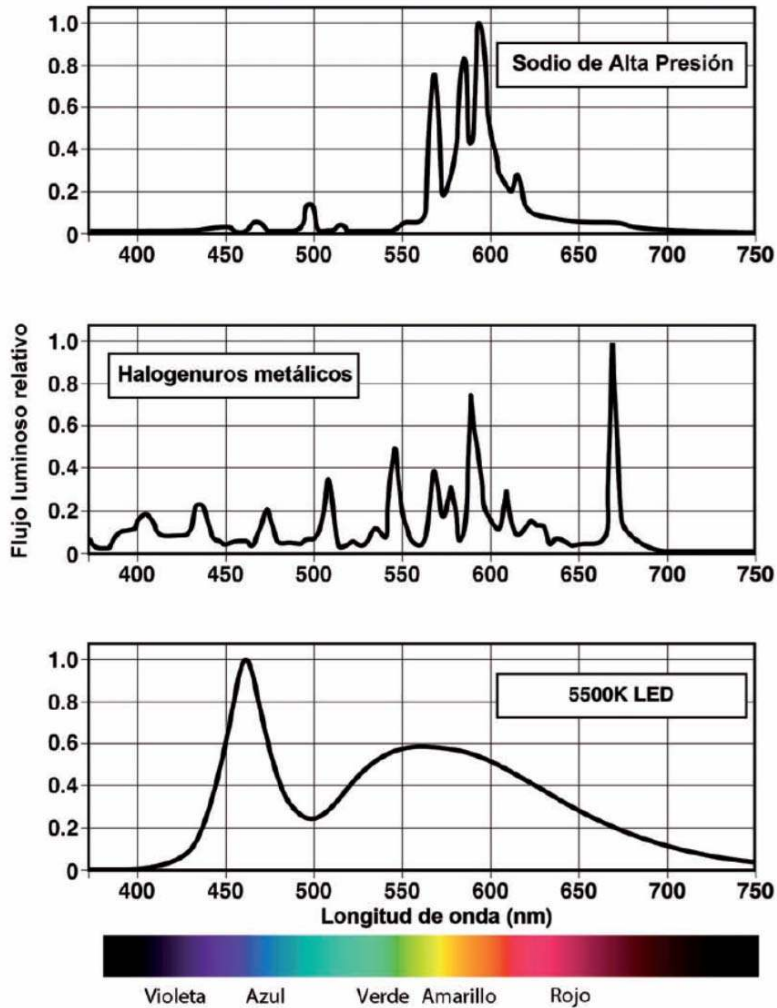
Es fundamental usar lámparas cuya distribución espectral tenga la máxima intensidad en las longitudes de onda a las que el ojo tiene la máxima sensibilidad en las condiciones típicas de las áreas a iluminar (normalmente visión fotópica), evitando al máximo las lámparas de amplio espectro (de luz «blanca»). Así, además de que se favorece el máximo aprovechamiento de la luz para la función visual, también se evita en parte invadir la región del espectro correspondiente a la visión escotópica, que es la predominante cuando se observa el cielo oscuro natural lejos de la zona donde están situadas las luminarias. Evitar la luz blanca beneficia también a la biodiversidad nocturna en general, además de producir una menor difusión atmosférica que la amarilla. Las lámparas a emplear deben ser, pues, aquellas que a igual flujo luminoso ocasionen el menor impacto ambiental (en la actualidad, las de sodio de baja y alta presión).

Desde hace algún tiempo se están empleando mucho las lámparas LED, sobre las que hay un intenso debate y controversia. Los diodos luminiscentes, más conocidos por sus siglas en inglés LED (Light-Emitting Diode) aún son una tecnología en el mercado de iluminación de exteriores que es preciso estudiar mucho mejor y valorar adecuadamente su potencial en cuanto a eficiencia energética y al control de las diferentes formas de contaminación lumínica. Los LED de luz «blanca» se basan en el LED azul con una corrección de color mediante una capa de fósforos, de manera

análoga a los tubos fluorescentes. La máxima eficacia se obtiene con la mínima capa de fósforos posible, con lo que la luz emitida tiene una temperatura de color superior a los 6.000° K. A mayor temperatura de color mayor rendimiento, pero peor índice de reproducción cromática (IRC) , mayor sensación de luz fría y peor confort visual. Para conseguir luz con una temperatura de color más cálida cercana a los 3.000° K debe incrementarse la capa de fósforos, con lo que la eficacia entonces disminuye considerablemente. Así que realmente en la actualidad una luminaria de LED puede alcanzar en términos de eficacia de fuente de luz valores solo ligeramente por debajo de los que se obtienen ya con otras fuentes de luz tradicionales de tecnología actual como las lámparas de vapor sodio de alta presión (VSAP) o las lámparas de halogenuros metálicos (HM) con quemador cerámico (figura 7). Por tanto, en cuanto a energía se refiere, a día de hoy, el LED no es más eficaz que otras lámparas en igualdad de condiciones: misma temperatura de color, uniformidades, deslumbramiento.

Lo cierto es que la publicidad comercial e institucional sobre alumbrado con dispositivos LED obvia además, de manera sistemática, el hecho de que la luz blancoazulada que emiten los LED que se comercializan actualmente es la más nociva para el medio nocturno y para la salud humana. Estos dispositivos emiten un máximo valor o pico en longitudes de onda corta, próximas a los 460-470 nanómetros, correspondiente al color azul y este tipo de luz es la que causa una mayor contaminación lumínica, ya que es la que se difunde con mayor eficacia en la atmósfera, incrementando el característico resplandor luminoso que se crea sobre las poblaciones, afectando a las observaciones astronómicas y perturbando la oscuridad natural del medio nocturno a cientos de kilómetros de distancia (Herranz, Ollé y Jáuregui, 2011). Un factor también, sin duda, que ha hecho que los LED tengan tanto éxito es que los lugares iluminados por LED tienen un aspecto mucho más “vistoso” que otros iluminados con otros tipos de luz; es decir, los LED son fotogénicos (efecto que ha sido convenientemente explotado publicitariamente por las empresas que se dedican a su comercialización). Sin embargo, la sensación real es muy diferente, ya que las luminarias LED de color blanco neutro y frío (>3000°K) son altamente deslumbrantes y molestas y la luz fría suele producir un efecto desagradable, poco natural, además de ser especialmente dañinas para la salud y el medio ambiente, como ya se ha comentado. En todo caso, se recomienda, cuando sea necesaria la luz blanca, el uso de LEDs de color blanco cálido (<3000°K), los cuales ya se encuentran disponibles en el mercado.

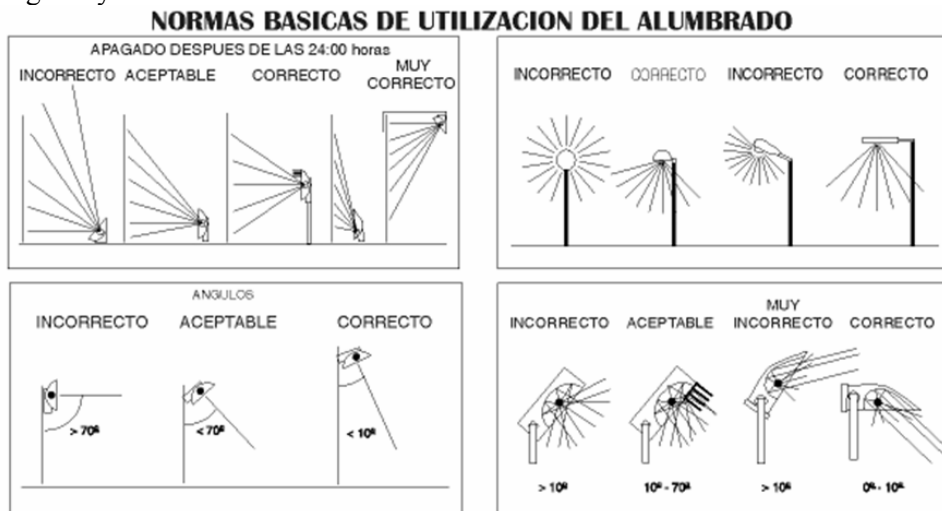
Figura 7. Comparación de las distribuciones espectrales de algunas lámparas usuales en iluminación de exteriores².



Fuente: Herranz, Ollé y Jáuregui, 2011.

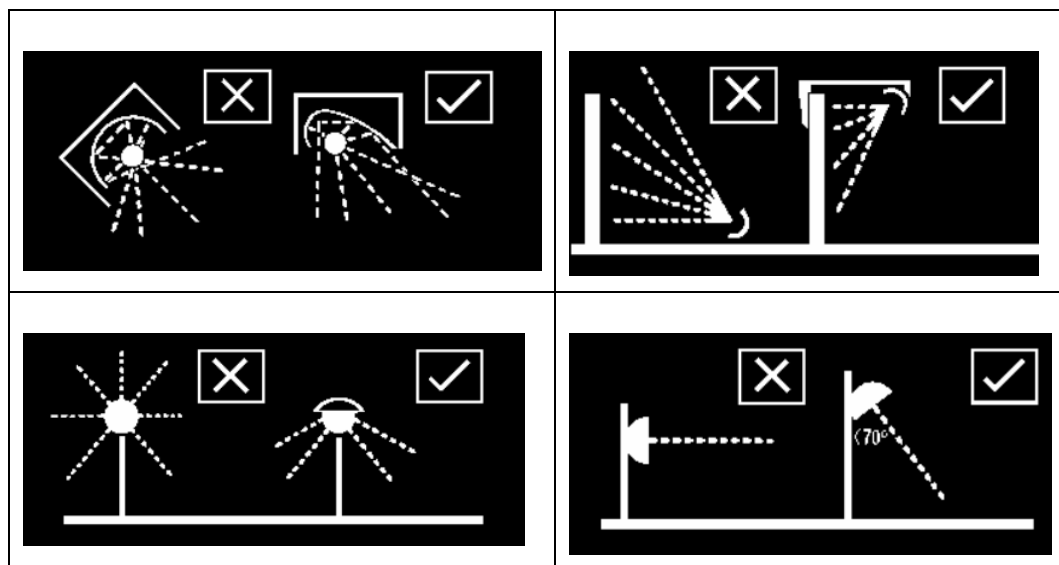
² De arriba abajo: vapor de sodio a alta presión, halogenuro metálico y LED blanco.

Figura 8. Algunas recomendaciones básicas en la utilización del alumbrado con los ángulos y orientaciones más adecuadas.



Fuente: Cel Fosc.

Figura 9. Correcta orientación de las luminarias.



Fuente: British Astronomical Association - Campaign for Dark Skies.

En relación con las luminarias empleadas, éstas han de estar instaladas y orientadas convenientemente para que no generen ningún tipo de forma de contaminación lumínica. Como normas generales se pueden dar las siguientes recomendaciones (GT20, 2000):

- la luz se debe dirigir en sentido descendente y no ascendente, sobre todo en iluminación de edificios y monumentos
- no es recomendable la implantación de columnas de gran altura en el alumbrado público, salvo cuando otras exigencias así lo aconsejen
- en general, y, en especial, en el alumbrado público se deben utilizar luminarias con valores mínimos de emisión de luz por encima del plano horizontal y, por tanto, rechazar aquellas que emitan valores superiores a un determinado porcentaje de luz por encima de dicho plano
- el haz de luz se ha de dirigir hacia abajo, manteniéndolo por debajo de 70º, para que el deslumbramiento sea mínimo.
- en las figuras 8 y 9 pueden verse ilustradas gráficamente algunas de estas recomendaciones básicas en cuanto a la orientación y ángulos más adecuados que deben cumplir algunos tipos de luminarias como los proyectores (de pared o no) de edificios y monumentos o las farolas de alumbrado público.

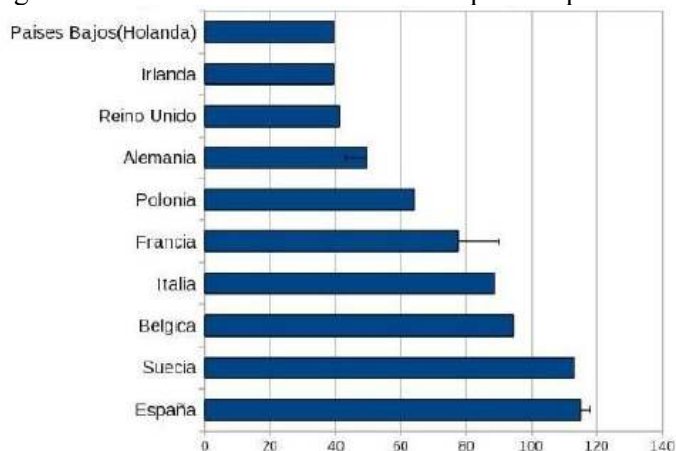
1.5. Normativa legal

A día de hoy no hay ninguna ley de ámbito estatal en España que regule la contaminación lumínica, a excepción de la de protección del cielo en el entorno de los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias que data de 1998; a nivel autonómico sí que existen ya varias leyes. Catalunya fue la primera comunidad autónoma en tener una ley de estas características, siendo aprobada por el Parlament de Catalunya en mayo de 2001. La ley catalana *–Llei 6/2001 d’Ordenació Ambiental de l’Enllumenat per a la Protecció del Medi Nocturn–* ha servido de modelo para otras comunidades autónomas, de manera que a día de hoy, también disponen ya de una ley Baleares, Navarra, Cantabria y Andalucía, además de Extremadura y Castilla y León. En la Comunidad de Murcia se dispone de un Anteproyecto de Ley, mientras que en las comunidades de Valencia, País Vasco y Aragón han habido algunos intentos hasta ahora sin éxito. En el ámbito estrictamente local han habido algunas actuaciones verdaderamente avanzadas en el tiempo, como la ordenanza municipal promulgada en 1998 por el ajuntament de Tàrrega, al que siguieron otros municipios catalanes como Bellpuig, St. Boi de Llobregat o Figueres, y otras ciudades españolas como Burgos y Córdoba. En algunas de estas localidades, como Tàrrega o Figueres, se han conseguido con la adaptación del alumbrado, un ahorro medio, que puede cifrarse entre el 25 y el 30%, y un retorno de la inversión efectuada de entre 2-3 años.

Existe también un *Reglamento de Eficiencia Energética en las Instalaciones de Alumbrado Exterior* (R.D. 1890/2008), con las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC-EA-01-07) promulgado por el gobierno central, pero cuyo objetivo primordial no es el de reducir la contaminación lumínica, sino que

principalmente pretende controlar el elevado consumo de energía eléctrica de las instalaciones de alumbrado público de España. Según un análisis realizado por el Grupo de Estudio de Contaminación Lumínica de la Universidad Complutense (UCM) que ha comparado el gasto eléctrico en alumbrado público por habitante en 10 países de la Unión Europea, el del alumbrado público español precisamente es el más elevado de Europa (figura 10).

Figura 10: Gasto eléctrico en alumbrado público por habitante (kWh/año).



Fuente: Grupo de Estudio de Contaminación Lumínica, 2011.

El caso de la ley catalana puede considerarse como pionero, porque no pretendía ser una norma que protegiese únicamente los intereses de los astrofísicos profesionales y astrónomos aficionados, sino que se trata de una verdadera ley ambiental, con el objetivo de evitar al máximo posible los efectos negativos de la contaminación lumínica en el medio ambiente (alteración de la biodiversidad y de los ecosistemas nocturnos, emisión de contaminantes a la atmósfera) y la salud humana (desarreglos en el sueño y consecuencias subsiguientes producidas por la intrusión lumínica) (Cañavate, Galadí, Horts y Ollé, 2012). Para conseguir estos objetivos, la ley establecía que el futuro reglamento que la desarrollase debería incluir una división del territorio en cuatro zonas (E1, E2, E3 y E4) según su grado de vulnerabilidad a los efectos de la contaminación lumínica, siendo la E1 la de mayor protección y la E4 la de menor, reservada a espacios con elevada actividad nocturna. Para cada zona, se establecerían unas tablas que determinarían el tipo de lámpara a utilizar, el porcentaje de FHS admitido en cada una, los niveles luminotécnicos máximos, así como el porcentaje de intrusión lumínica admisible. Se establecía también el doble horario y la regulación de los alumbrados ornamentales.

Está claro que no resulta viable combatir con eficacia la contaminación lumínica sin tener una normativa y unas leyes que la regulen, pero también es cierto que el mero hecho de disponer de una ley no es ninguna garantía para conseguir ese

objetivo, si no va acompañada también de una voluntad político-administrativa real y efectiva para que se cumpla.

2. La contaminación lumínica en las ciudades españolas. Estudio aplicado al barrio de Sants (Barcelona)

Las ciudades españolas, al igual que el resto de grandes ciudades del mundo, no son ajenas al problema de la contaminación lumínica. Un significativo conjunto de grupos de investigación de diferentes ciudades y universidades españolas (*Red Española de Estudios sobre la Contaminación Lumínica*) se ocupan desde hace ya algún tiempo del estudio e investigación del tema desde diferentes perspectivas. Según el grupo de Estudio de la Contaminación Lumínica del Departamento de Astrofísica y CC. de la Atmósfera de la Universidad Complutense de Madrid, España es el país de la Unión Europea que más contamina lumínicamente por habitante. El consumo energético por habitante es récord, con 118-114 kwh/año por habitante, frente a los 90-77 de Francia o los 48-43 de Alemania, por ejemplo (Fuente: <http://guaix.fis.ucm.es/node/1488>). España, además, es el país que tiene el alumbrado con mayor potencia media por luminaria (entre 160 y 180 W), claramente superior, al de la media de países de la Unión Europea (Sánchez de Miguel y Zamorano, 2008).

2.1. El alumbrado público en la ciudad de Barcelona

El área metropolitana de Barcelona es una región con una elevada contaminación lumínica, habiéndose constatado una calidad baja del cielo nocturno, como ocurre en el resto de grandes aglomeraciones urbanas de nuestro país con el mismo nivel de desarrollo (García Gil, Estrada et al, 2014). En la ciudad de Barcelona está vigente desde finales del 2013 el nuevo Plan Director de Iluminación del Ayuntamiento de la ciudad desde en el que se invertirán 22,4 millones de euros y con el que se pretende dar un mayor protagonismo a las zonas para peatones y aplicar nuevas tecnologías que supongan una mejora importante del consumo.

El Plan contempla el cambio de 3.360 puntos de luz, lo que supone un 2,5% de todo el alumbrado de Barcelona. En esta primera fase se han priorizado tramos de arterias importantes, como el paseo de Gràcia, el Paral·lel y la Diagonal, y zonas donde la iluminación era precaria, como el barrio de Ciutat Meridiana. En el propio Plan se recalca el hecho de mejorar "la calidad lumínica de la ciudad" y destaca como principales objetivos "iluminar las zonas para viandantes e iluminar por debajo de las cabeceras de los árboles con una luz blanca amigable y evitando la contaminación lumínica". El ayuntamiento de Barcelona ha firmado diversos acuerdos de colaboración con diferentes empresas, como es el caso de Philips, para incorporar en el alumbrado vial sistemas conectados de gestión y la tecnología LED, con la pretensión de convertir la ciudad en una Smart City, dentro del marco del programa Horizon 2020 de la Comisión Europea.

En Barcelona hay más de 136.000 puntos de luz, con modelos y resultados lumínicos diferentes y una gran diversidad de estilos. Con este Plan, la sustitución de antiguas luminarias y la incorporación de nuevas tecnologías permitirá tener una iluminación más eficiente y adaptada a las necesidades del entorno. Según las últimas cifras disponibles publicadas en el Anuario Estadístico de la ciudad (Ajuntament de Barcelona, 2014), el alumbrado viario de Barcelona está compuesto en 2013 por un total de:

- Luminarias: 135.155 unidades
- Soportes: 115.147 unidades
- Lámparas: 151.085 unidades

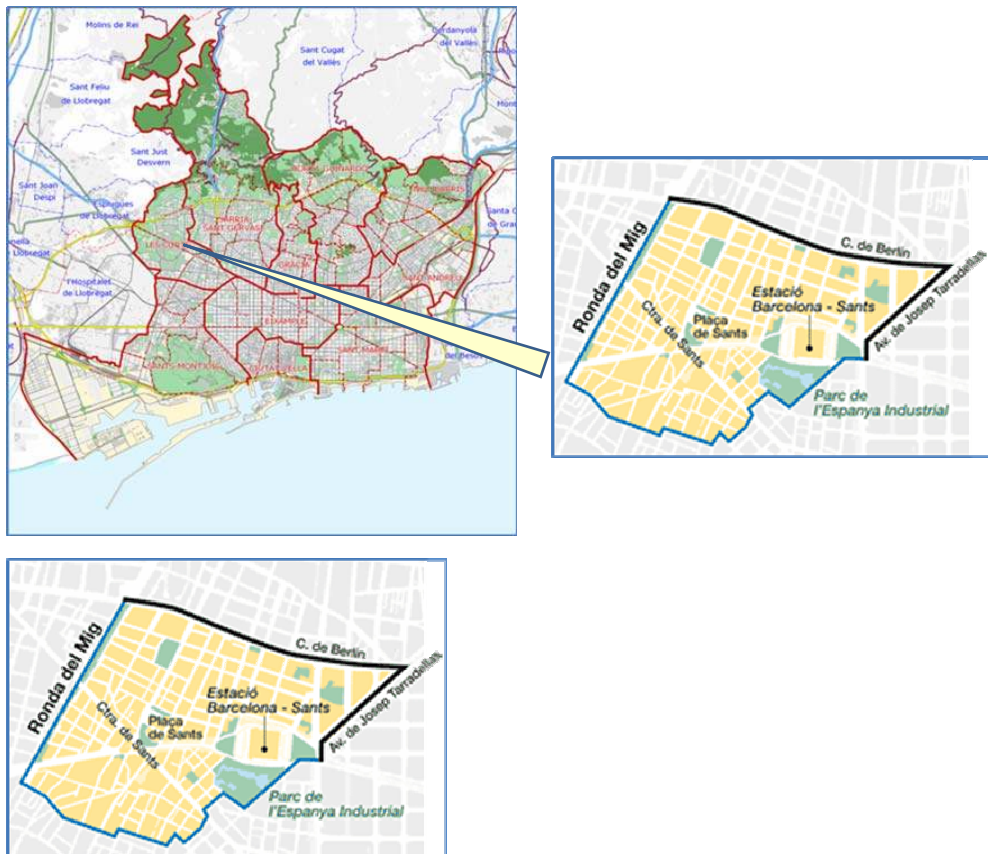
Los soportes son los elementos que soportan una o varias luminarias. Las luminarias los que contienen una o más bombillas o lámparas y que distribuyen la luz. Y las lámparas, los elementos que producen la luz. Los gastos de conservación de todo el alumbrado viario de la ciudad suponen la cantidad de 12.743 miles de euros. La potencia total funcionando es de 25.986 kW y el consumo eléctrico de 83,7 Mkw/h. El Plan que ya se ha puesto en marcha en diferentes lugares de la ciudad, se ha aplicado también en algunas calles del barrio de Sants, objeto de estudio de este trabajo de investigación. Es el caso de la calle de Galileu, por ejemplo, o el tramo de la calle de la Creu Coberta entre las plazas de Espanya y de Sants.

2.2. El barrio de Sants: características generales

El barrio de Sants pertenece al distrito de Sants-Montjuic y es el más extenso (1,1 km²) y más antiguo, además de concentrar el mayor número de población de todo el distrito (41.104 habitantes)(figura 11). El barrio se origina a lo largo del antiguo camino real. Con la construcción de la carretera nueva, a finales del siglo XVIII, se incrementa su crecimiento y expansión. El gran avance de Sants se produjo a finales de la primera mitad del siglo XIX, con la instalación de los grandes vapores, la construcción de la línea ferroviaria, y cuando numerosos establecimientos comerciales que huían de los impuestos de Barcelona abrieron sus negocios en la carretera de Sants. Este viejo núcleo rural se convirtió así en un suburbio de carácter obrero e industrial que gozó durante cincuenta años de autonomía municipal, hasta que fue anexo a Barcelona en 1897 junto con otros municipios.

Con el transcurso del tiempo, la actividad comercial de la carretera cada vez fue en aumento, llegando hasta nuestros días en que es considerada como uno de los principales ejes comerciales de la ciudad. Los comercios existentes en su gran mayoría siguen siendo pequeñas empresas de carácter familiar. La estación ferroviaria central Barcelona-Sants y la estación del AVE han propiciado la revitalización económica del barrio y su progresiva conversión hacia el sector terciario.

Figura 11. Límites del barrio de Sants, localizado dentro del distrito Sants-Montjuïc de la ciudad de Barcelona.



Fuente: Elaboración propia a partir de la página web del distrito Sants-Montjuïc del Ajuntament de Barcelona.

En cuanto al alumbrado público viario, el distrito de Sants-Montjuïc es uno de los que tiene mayor número de soportes de toda la ciudad, con 12.813 unidades; sólo le superan los distritos de Sant Martí y Nou Barris. El número de lámparas es de 16.461 unidades. Las cifras citadas se refieren a todo el conjunto del distrito, y no solo al barrio de Sants, ya que en las estadísticas disponibles no constan las cifras desglosadas por barrios.

2.3. Metodología

Dadas las dimensiones del barrio, se ha optado por seleccionar como área de estudio, una muestra significativa de calles, escogiéndose algunas de las vías principales y de las calles más representativas del barrio (véase figura 12). La metodología seguida ha

luminaria de pared o fachada, o bien de uno de pie, y en el tipo de lámpara que emplean (vapor de sodio y/o Led).

Figura 13. Tabla-resumen de la contaminación lumínica de las calles analizadas en el barrio de Sants

Lugares	Modelo de luminaria	Disposición de luminaria	Tipo de lámpara	Problemas detectados
1.Plaça de Sants	pie	-	Vapor de sodio	X
2.Passeig de St.Antoni	pie	tresbolillo	Vapor de sodio y Led	X
3.Carreretera de Sants	pie	tresbolillo	Vapor de sodio y Led	X
4. Carrer Galileu	pie	unilateral	Led	
5.Carrer Vallespir	pie	tresbolillo	Vapor de sodio	
6.Carrer Comtes de Bell.lloc	pie	tresbolillo	Vapor de sodio	
7.Carrer Alcolea	pared	tresbolillo unilateral	Vapor de sodio	X
8.Carrer Olzinelles	pie	unilateral	Vapor de sodio	
9.Carrer Cros	pared	tresbolillo	Vapor de sodio	X
10.Carrer Burgos	pared	unilateral tresbolillo	Vapor de sodio	X
11.Carrer Gavà	pie	tresbolillo	Vapor de sodio	X
12.Carrer Constitució	pared pie	tresbolillo	Vapor de sodio	X
13.Carrer Andalucía	pared	unilateral	Vapor de sodio	X
14.Carrer Bonaventura Pollés	pie	unilateral	Led	
15.Carrer Rossend Arús	pie	unilateral	Led	
16.Carrer Noguera Pallaresa	pie pared	unilateral tresbolillo	Led Vapor de sodio	
17.Carrer Joan Güell	pie	tresbolillo	Vapor de sodio	X
18.Plaça de Can Mantega	pie	-	Vapor de sodio	
19.Plaça de Osca	pie	-	Vapor de sodio	
20.Rambla Badal	pie	tresbolillo	Vapor de sodio	X
21.Rambla Brasil	pie	tresbolillo	Vapor de sodio	X

Fuente: Elaboración propia.

También se ha analizado la distribución espacial de las luminarias en las calles, teniendo en cuenta los tres tipos de disposición más común o usual. La unilateral, que consiste en la colocación de todas las luminarias a un mismo lado de la calzada, y que suele utilizarse solamente en el caso de aquellas calles cuya anchura sea igual o inferior a la altura del montaje de las luminarias. La denominada en tresbolillo, que consiste en la colocación de las luminarias en ambos lados de la calle, pero en zigzag y que se emplea principalmente si el ancho de la vía es 1,0 y 1,5 veces la altura del montaje. Y la disposición pareada o en oposición, donde las luminarias están colocadas a ambos lados de la calle, una opuesta frente a la otra, que se utiliza preferentemente cuando el ancho de la vía es mayor de 1,5 veces la altura del montaje. Y finalmente, también se ha analizado la localización de puntos críticos

donde se haya observado algún problema de contaminación lumínica (intrusión lumínica y/o deslumbramiento, principalmente).

Los resultados obtenidos en el análisis efectuado se presentan de forma resumida y sintetizada en la tabla de la figura 13 donde constan en la primera columna todas las calles, paseos y plazas analizadas en el área de estudio.

El análisis realizado ha permitido comprobar que las luminarias en el barrio de Sants están colocadas mayoritariamente con una disposición en tresbolillo o zig-zag (55,6%), seguido de una disposición unilateral (27,8%) y, en último lugar, por una combinación de las dos anteriores (16,6%). No se ha encontrado, en cambio, ninguna calle donde hubiera una disposición pareada. Casos especiales que quedan fuera de estos tipos de disposición son los que se han observado en las plazas, donde hay una distribución algo más aleatoria que parece no seguir un patrón muy claro (plazas de Can Mantega y de Sants) o una disposición más regular con una luminaria en cada vértice en el caso de una plaza cuadrangular (plaza Osca)

Se ha constatado una gran diversidad de modelos de luminarias existentes en las diferentes calles y plazas, llegándose a contabilizar hasta 19 modelos distintos. En las fotografías adjuntas (figura 14) puede apreciarse dos modelos bien

contrastados, el de la plaza Osca, que recrea un estilo artístico antiguo, en consonancia con la localización de la plaza, al hallarse en pleno casco viejo del barrio, y el más moderno de las Ramblas Brasil y Badal con el peculiar modelo “oxidado”, objeto de algunas críticas en su día cuando fueron instalados.

Figura 14. Modelos de luminaria de estilo artístico antiguo (en plaza Osca) y de estética más moderna (en Rambla Brasil y Badal).



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al tipo de lámparas, la renovación ha sido total, ya que en ninguna de las calles y plazas analizadas en el barrio de Sants quedan lámparas de mercurio o de halogenuros metálicos. Todas son lámparas menos contaminantes como las de vapor de sodio y las de Led. Concretamente, el 71,4% de las luminarias analizadas son de vapor de sodio, mientras que el 14,3% son de Led y el otro 14,3% son una combinación de vapor de sodio y Led. Hay que advertir que no se ha podido determinar con total seguridad si los Led de luz blanca instalados, son de los contaminantes y dañinos ($> 3000^{\circ}\text{K}$) o son, por el contrario, de los de luz blanca cálida, más recomendables ($<3000^{\circ}\text{K}$). La apariencia visual, a falta de su confirmación, da una sensación de luz blanca o azulada, muy fría y altamente deslumbrante.

Además, se han detectado problemas de contaminación lumínica (deslumbramiento y, en mayor medida, intrusión lumínica) en más de la mitad de los casos (57,1% de los lugares analizados), comentándose con más detalle en el siguiente apartado.

3.1. Algunos ejemplos seleccionados de intrusión lumínica

Uno de los principales problemas de contaminación lumínica que se ha podido comprobar en el barrio de Sants tras el trabajo de campo efectuado es el de la intrusión lumínica, ya que en un porcentaje apreciable de las calles analizadas se han detectado puntos críticos, viéndose cómo un número significativo de ventanas y balcones de entresuelos y primeros pisos en edificios destinados a viviendas quedan inundados de luz procedente del alumbrado público y comercial. Se ha observado que las calles que quedan libres de este problema son, quizá, únicamente aquellas donde se han instalado luminarias de leds de plataforma plana rectangular (calles de Bonaventura Pollés, Rossend Arús y un tramo de la calle Noguera Pallaresa), que dirigen la luz hacia el suelo (véase figura 15).

Para que no resulte demasiado largo y reiterativo, aquí tan sólo se han incluido cuatro casos, seleccionados especialmente como ejemplos representativos del problema de la intrusión lumínica. Se han elegido dos casos de intrusión causados por las luminarias de pared (figuras 16 y 17) y otros dos casos, causados por las luminarias de pie (figuras 18 y 19).

Figura 15. Imagen nocturna tomada desde arriba de las luminarias de leds³.



Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la calle Andalucía (véase figura 16) el problema se solucionaría o, al menos, se minimizaría, aunque la luminaria mantuviera la misma altura, si en vez de estar anclada a la pared sobre la mitad del balcón, se hubiera puesto fuera de él, en la esquina. En el ejemplo de la calle Burgos (véase figura 17), puede verse que la elección del lugar de instalación de la luminaria en la pared es mejor (justo entre dos edificios contiguos, uno más moderno y otro más antiguo), pero la altura excesiva a la que se sitúa resulta inadecuada, siendo la principal causante del problema en este caso.

Dos vías tan importantes en el barrio como la carretera de Sants y la rambla Badal tampoco se libran de este problema. En el primer caso (véase figura 18), las nuevas luminarias dobles instaladas también inundan de luz en algunos puntos las ventanas que se sitúan en el nivel de los entresuelos; concretamente, es la luminaria que ilumina la acera la que causa el problema. La solución en este caso pasaría por un reajuste de la altura y orientación de la luz que ilumina la acera.

³ Imagen nocturna tomada desde arriba de las luminarias de leds de la calle Bonaventura Pollés y vista de detalle de una luminaria donde se aprecia la plataforma superior rectangular de carácter plano dirigiendo toda la iluminación hacia el nivel inferior de la calle.

Figura 16. Ejemplo de intrusión lumínica en la calle Andalucía.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Ejemplo de intrusión lumínica en la calle Burgos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Ejemplo de intrusión lumínica en Carretera de Sants



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Ejemplo de intrusión lumínica en la Rambla de Badal



Fuente: Elaboración propia.

En la rambla Badal, el inadecuado ángulo de orientación de las modernas luminarias de diseño que hay sobre las calzadas laterales causa también grandes problemas de intrusión lumínica, con un exceso de luz que penetra de forma clara por las ventanas y balcones de los primeros pisos (véase figura 19).

4. Conclusiones

En la aplicación de la normativa para la prevención de la contaminación lumínica, la Administración Local tiene un papel decisivo en cuanto a la regulación de las instalaciones de iluminación exterior. Por tanto, en este caso, el Ajuntament de Barcelona debería ser mucho más estricto y riguroso a la hora de controlar dichas instalaciones en la ciudad. Por ejemplo, por la noche se recomienda que sólo funcionen aquellos rótulos luminosos que cumplan una función básica, y no los rótulos de carácter comercial y publicitario. En el trabajo efectuado se ha podido comprobar, en cambio, que en una de las principales vías comerciales (Carretera de Sants), por la noche siguen encendidos demasiados rótulos que son totalmente innecesarios, siendo pues una cuestión en la que se debería intervenir de manera más efectiva y eficaz.

A pesar de todos los esfuerzos e inversión económica que ha supuesto la implantación del nuevo Plan Director de Iluminación de la ciudad condal, con la renovación de las luminarias de muchas de sus calles, su aplicación material, al menos en el barrio de Sants, deja todavía mucho que desear. Concretamente, se han detectado numerosos problemas de instalación de las luminarias en muchos lugares (emplazamientos y alturas inadecuados). Sorprende que siendo luminarias nuevas o de reciente instalación, se repitan los mismos problemas, y el ayuntamiento, a través de sus técnicos responsables, haya dejado escapar la oportunidad de corregir las deficiencias. El nuevo Plan no sólo debía suponer la sustitución de las antiguas instalaciones de alumbrado por otras nuevas, sino que también debe contemplar una aplicación con criterios de eficiencia energética y sostenibilidad ambiental, con un diseño racional.

El trabajo de campo efectuado en el barrio de Sants demuestra que la contaminación lumínica tiene todavía una importancia significativa, habiéndose detectado problemas, sobre todo, de intrusión lumínica en más de la mitad de las calles analizadas, así como de deslumbramiento. Son numerosos los balcones y ventanas de entresuelos y primeros pisos que se ven inundados de luz artificial nocturna, por la inadecuada altura y orientación que presentan, incluso también las de las modernas luminarias de alumbrado público instaladas.

La única mejora clara observada se limita a la sustitución de las antiguas lámparas de mercurio, más contaminantes, por las nuevas de vapor de sodio o las de LEDs, de menor impacto ambiental, ya que la renovación ha sido prácticamente total en el conjunto de calles analizadas. No ocurre lo mismo con la potencia instalada, ya que en algunas calles no parece que se haya reducido significativamente. En algunos lugares sigue notándose, quizá, un exceso de iluminación, no tanto por la propia

potencia como por un número de puntos de luz, quizá, sobredimensionado. Parece que sigue repitiéndose la idea errónea de que con una mayor iluminación se consigue una mayor seguridad.

En consecuencia, aunque se hayan dado algunos pequeños avances, todavía queda mucho por hacer para que se reduzca significativamente la contaminación lumínica en la ciudad. Esta reducción sólo se puede conseguir mejorando el alumbrado exterior, empleando una iluminación más eficiente que únicamente utilice la cantidad de luz indispensable para el desarrollo de las distintas actividades, así como la aplicación de medidas efectivas que restrinjan el horario de iluminación al estrictamente necesario. En este empeño han de participar conjuntamente tanto los técnicos especialistas en iluminación, incorporando en sus proyectos todas las recomendaciones y disposiciones vigentes sobre la materia, como los fabricantes, que habrán de continuar diseñando y fabricando productos cada vez más eficientes y ajustados a la normativa existente. Y por supuesto, los propios ciudadanos, que también tienen un papel importante que desempeñar, adquiriendo una mayor concienciación y compromiso en la reducción de la contaminación lumínica y exigiendo, además, a la Administración, el cumplimiento estricto y riguroso de la legislación en este tema.

5. Bibliografía

Ajuntament de Barcelona: *Anuario Estadístico de la ciudad de Barcelona. 2014.*

En: <http://www.bcn.cat/estadistica/castella/dades/anuari/cap18/index.htm>

Alfonso, J.; Galadí, D. y Morales, C.(coord.)(2009): *100 Conceptos básicos de Astronomía.* Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales, Madrid.

Bonmatí, M^a A. (2014): “Efectos de la contaminación lumínica en la salud humana”. *I Jornadas Astroturismo Andalucía*, Granada, abril 2014.

Cañavate, E.; Galadí, D.; Horts, P. y Ollé, J.M^a.(2012): “Normativas sobre la contaminación lumínica en España”. *Astronomía*, nº 155, p.34-40.

CONAMA 9 (2008): *Contaminación lumínica. Documento Final.* Grupo de Trabajo GT-Luz, Congreso Nacional del Medio Ambiente, Cumbre del Desarrollo Sostenible.

De la Paz, F.; Sanhueza, P. y Díaz, J. (2010): *Guía práctica de iluminación de exteriores. Alumbrado eficiente y control de la contaminación lumínica*, Oficinas de la Protección de la Calidad del Cielo de Chile y Canarias, Tenerife-Anfogasta.

Domingo, J.; Baixeras, J. y Fernández, G. (2011): “La gestión de la contaminación lumínica y su impacto sobre la biodiversidad”. *Física y Sociedad*, nº 21, p.12-14. En: http://www.cofis.es/pdf/fys/fys21/fys21_12-14.pdf

España el país más contaminante lumínicamente de la UE: <http://guaix.fis.ucm.es/node/1488>

García Gil, M.; Estrada, R. et al (2014): *Avaluació de l'impacte ambiental Lumínic (AIAL) de les instal·lacions d'enllumenat artificial nocturn a zones Protegides de l'AMB.* Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB i Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

- Grupo de Estudio de Contaminación Lumínica (2011): *El alumbrado público español, el de mayor gasto eléctrico por habitante en Europa*. Nota de prensa. Universidad Complutense de Madrid.
- GT20 (2000): *Contaminación lumínica. Documento Final*. Grupo de Trabajo 20. V Congreso Nacional del Medio Ambiente.
- Herranz, C. (2011): “Por una nueva cultura de la luz”, *CIC Arquitectura y Construcción*, nº 484, p.32-35, Grupo Tecnipublicaciones, Madrid
- Herranz, C.; Ollé, J. M^a y Jáuregui, F.(2011): “La iluminación con LED el problema de la contaminación lumínica”. *Astronomía*, 144, p.36-43.
En: <http://www.celfosc.org/biblio/general/herranz-olle-jauregui2011.pdf>
- Página web del distrito Sants-Montjuic del Ajuntament de Barcelona:
http://w110.bcn.cat/portal/site/Sants-Montjuic?lang=es_ES
- Rol, M^a.A.; Baño, B.; Martínez,A.; Bonmatí, M^a.A.; Ortiz, E. y Madrid, J.A.(2011): “El lado oscuro de la luz: efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana”. *Física y Sociedad*, nº 21, p.20-22. En: http://www.cofis.es/pdf/fys/fys21/fys21_20-22.pdf
- Sánchez de Miguel, A. y Zamorano, J.(2008): “Contaminación lumínica, en España”. *Highlights of Spanish Astrophysics V*. Proceedings of the VIII Meeting of the Spanish Astronomical Society (SEA), Santander, July 2008.